

AALTO-YLIOPISTON TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunta

Marjo Kauhaniemi

## **SATAMAN KAPASITEETTIJOUSTAVUUS**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytetyönä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten teollisuustalouden koulutusohjelmassa

Lahdessa, 14.6.2010

Työn valvoja: Professori Kari Tanskanen

Työn ohjaajat: TkT Mika Helsingius ja Professori Juha-Matti Lehtonen

Tekijä: Marjo Kauhaniemi		
Työn nimi: Sataman kapasiteettijoustavuus		
Sivumäärä: 120 + 101	Päiväys: 14.6.2010	Työn sijainti: TU
Professuuri: Teollisuustalous		Koodi: TU-22
Työn valvoja: Professori Kari Tanskanen		
Työn ohjaaja: TkT Mika Helsingius, Hämeen Rykmentti, Huoltokoulu ja Professori Juha-Matti Lehtonen, Tampereen teknillinen yliopisto		
<p>Satamat sopeutuvat liikennemäärien vaihteluun, mikäli laiturien rampit, varastokentät, henkilöstö, koneet ja laitteet ovat riittävät. Satamien liikennemäärät kasvavat, kun liikennettä reititetään korvaaviin satamiin häiriötilanteissa. Sataman infrastruktuuri voi rajoittaa satamaan saapuvaa liikennettä. Puoliperävaunujen purkaus sisältää kolme päävaihetta, joissa esiintyy kullekin vaiheelle tyypillisiä pullonkauloja. Jos sataman infrastruktuurilla tai satamaoperaattorilla on riittävästi kapasiteettijoustavuutta, sataman läpivirtausta voidaan kasvattaa.</p> <p>Tässä työssä tutkittiin sataman kapasiteettijoustavuutta. Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka puoliperävaunujen purkamisen läpivirtausta ja kapasiteettitarpeita satamassa tulisi mitata. Teoriaosuus käsitteli rajoitteiden ohjaamaa suunnittelua, lähimerenkulun alusten rakenteita ja satamien järjestelmiä. Aineistona käytettiin Vuosaaren satamaoperaattorin lokakuun 2009 aluskäyntejä. Empiirisessä osuudessa analysoitiin Vuosaaren sataman lastilauttaliikennettä, infrastruktuuria ja satamaoperaattorin prosesseja. Mallinnettaessa tunnistettiin kapasiteetin käytön pullonkauloja ja keinoja kapasiteetin kasvattamiseen. Malliin perustuen tuotettiin Excel-laskentamalli visualisoimaan tilanteita, joissa sataman tai sataman kapasiteettia käytetään läpäisykyvyn ylärajalle asti. Ylärajan jälkeen kapasiteetin joustavuus loppuu. Excel-laskentamallilla testattiin kapasiteettiläyksiä ja arvioitiin lisäysten vaikutuksia. Lopuksi arvioitiin tutkitun sataman korvaamista pienemmällä satamalla.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena kuvataan rajoitteita ja tarvittavia muutoksia, joita käytetään läpivirtauksen suunnittelussa satamien korvauksella toisiaan. Sataman kapasiteetti joustaa läpivirtauksen mukaisesti, jos pullonkaulan kapasiteetti on mitoitettu oikein. Vaihtoehtona on sataman koon kasvattaminen. Tutkimuksen osatuloksia olivat kuvaus puoliperävaunujen purkauksen prosessista, tutkitavan prosessin kapasiteetin ongelmista, läpivirtausta heikentävistä tilanteista ja sataman kapasiteettijoustavuutta parantavasta lisäkapasiteetista. Toisena tuloksena on kuvaus läpivirtauksen ja kapasiteettitarpeiden mittaamisesta. Satamaoperaattori mittaa läpivirtausta ja kapasiteettitarpeita alusten purkauksen ajalta. Pullonkaulat, prosessin rajoitteet ja kapasiteetin joustavuus saadaan selvitettyä, kun puoliperävaunujen vetämistä varastokentälle mitataan maksimikapasiteetilla. Pienten satamien käyttäminen korvaavina satamina tuottaa ongelmia kapasiteetille, kun sataman kokoa ei voida kasvattaa. Siten maksimikapasiteetin käyttöön perustuva suunnittelu kuvaa sataman kapasiteettijoustavuutta paremmin kuin alusten purkauksen mittaaminen koko purkauksen ajalta.</p>		
Asiasanat: Kapasiteettijoustavuus, läpivirtaus, pullonkaulat, satamaoperaattori, puoliperävaunut		Julkaisukieli: suomi

Author: Marjo Kauhaniemi		
Subject of the thesis: Capacity flexibility of a short-sea port		
Number of pages: 120 + 101	Date: 14.6.2010	Library location: TU
Professorship: Industrial Management		Code of professorship: TU-22
Supervisor: Professor Kari Tanskanen		
Instructors: Dr. (tech) Mika Helsingius, Häme Regiment, Logistics School and Professor Juha-Matti Lehtonen, Technical University of Tampere		
<p>The trade volume capacity of a domestic short-sea port may adjust to meet surge demand with the availability of supplementary berths, ramps, personnel and handling equipment. National disruptions may force the operators to reroute vessels. The destination port should have enough capacity to cope with the increased volume. High utility levels create bottlenecks if processes are not entirely adjusted. The unloading of semi-trailers contains three main process stages each of them having typical restrictions and bottlenecks. If the port systems and process stages have enough capacity flexibility the throughput of the port can be increased.</p> <p>In this work the method for measuring capacity flexibility in one of Finland's short-sea Roll on – Roll off (RoRo) ports was developed. The scope of the work was to search for the throughput measurements and capacity levels of semi-trailer operations. The theoretical models used were the Theory of Constraints, planning for bottlenecks and short-sea freight transport and port systems. The study used port operator statistics from October 2009. The empirical element included the analysis of Vuosaari RoRo traffic, port system infrastructure and port operator processes. Bottlenecks were identified as well as current capacity additions. Based on the model, an excel-sheet was developed to visualize the situations where either the capacity of port is used to the maximum. After that point, capacity flexibility no longer exists. The excel-sheet was also used to test new capacity extensions and the effects of them. The replacement of the original port with a smaller port was analysed.</p> <p>The results of the study show that if short-sea ports support each other, the planning should be placed on bottlenecks. If physical constraints create restrictions, capacity may be added if processes are modified. The throughput of a system will partly adjust to the demands if closely managed. Another option is to increase the size of the port. Other results are the process description of semi-trailer yard operations, capacity problems, throughput variations and capacity extensions needed to enhance port capacity flexibility. The current practice is to measure the throughput and the capacity needs of the vessel unloading process. Measuring maximum capacity levels of semi-trailer operations highlights the bottlenecks in yard operations and could solve the problems in bottleneck management. Maximum level utilization also measures capacity flexibility. Using smaller ports in national disruptions will create capacity problems when the size of the port cannot be increased. Therefore planning for and measuring maximum capacity levels better reflects capacity flexibility of a short-sea RoRo port.</p>		
Keywords: capacity flexibility, throughput, bottleneck, RoRo-port operator, semi-trailer		Publishing language: Finnish

# Alkusanat

Tämä diplomityö on usean vuoden kypsyttelyn lopputulos. Matkalla olen saanut tutustua moniin mielenkiintoisiin asioihin. Professori Kari Tanskanen on kärsivällisesti aina uudelleen palauttanut työlleni suunnan. Kirjoitukselle varatun ajan vähentyessä professori Juha-Matti Lehtonen opasti käytännön työtä, jotta diplomityölle asetetut vaatimukset saataisiin täyttymään. Kiitän teitä molempia saamastani avusta ja tämän työn valmistumisesta.

Tämä tutkimus ei olisi voinut toteutua ilman pitkäaikaista yhteistyötä liikenne- ja viestintäministeriön, Huoltovarmuuskeskuksen ja puolustusvoimien tuottamissa huoltovarmuuden tutkimuksissa. Työskentelymuotona ovat olleet keskustelut, joissa operaattorit ja asiantuntijat ovat tuoneet oman osaamisensa yhteisten tavoitteiden täyttämiseen. Tärkein ohjaajani on ollut huoltovarmuustutkimusten käytännön toteuttaja, Talent Partners vanhempi konsultti Pekka Rautiainen. Erityisesti kiitän Pekka Rautiaista, koska hän ei ennalta paljastanut, miten tutkimukseni tulee rakentua, miten tuloksiin päästään ja mitä tuloksia on odotettavissa. On ollut riemastuttavaa löytää käytännön ongelmista samoja asioita, joita teoriaosuudessa esiteltiin. Tutkitun satamaoperaattorin suunnittelupäällikkö Veli Takanen ja entinen tietotekniikkajohtaja Rautiainen ovat näyttäneet minulle, että perusongelmat eivät muutu, mutta jokainen tutkimus tuottaa uutta, käyttökelpoista tietoa. Rautiaisen tutkimuskumppani Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen tutkija Reima Helminen antoi työn loppuvaiheessa ratkaisevan palautteen, kun usko tavoitteeseen pääsemisestä alkoi ajanpuutteen takia vähentyä työtä viimeistellessäni.

Työnantajani puolustusvoimat on jaksanut vuosikymmenen ajan odottaa tämän diplomityön valmistumista. Kirjoitustyö ei olisi ollut mahdollista ilman aktiivista tukea työnantajaltani Hämeen Rykmentin Huoltokoulun Tutkimus- ja kehittämisosastolta. Kirjoitustyö on nyt saatu turvallisesti päättymään ja tulosten hyödyntäminen voi alkaa.

Lahti, kesäkuu 2010

Marjo Kauhaniemi

# Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelmat	1
1.3	Tutkimuksen laajuus ja rajaukset	2
1.4	Tutkimusmenetelmän valinta ja käytetty aineisto	4
1.5	Työn rakenne	5
2	Teoriaosuus	6
2.1	Toimitusketju	6
2.1.1	Logistiikan prosessit	6
2.1.2	Kapasiteetin suunnittelu	7
2.1.3	Mittaaminen ja mittarit	13
2.1.4	Viipeet	17
2.2	Intermodaalikuljetukset	18
2.2.1	Intermodaalikuljetuksen määritelmät	18
2.2.2	Aiempi tutkimus	22
2.2.3	Sataman yleiskuvaus	23
2.2.4	Alusten lastinkäsittely	25
2.2.5	Kuljetettavat lastit	27
2.2.6	Alusten purkaus	29
2.2.7	Lastilaivaliikenteen kapasiteetin suunnittelu	30
2.2.8	Varustamon ja satamaoperaattorin mittarit	32
2.3	Tavoitteet empiiriselle osalle	34
3	Nykytilan analyysi	35
3.1	Varustamon liikenne	35
3.1.1	Aluskäynnit	35
3.1.2	Liikennöintiin käytetyt alukset	36
3.1.3	Kuljetusyksiköt	37
3.1.4	Satamaoperaattorin käyttämät tiedot varustamon liikenteestä	37
3.2	Sataman infrastruktuuri	39
3.2.1	Vuosaaren sataman laiturialueet	39
3.2.2	Sataman rampit	41
3.2.3	Varastokenttien kokovaatimukset	43
3.2.4	Kulkuväylät	45
3.2.5	Sataman infrastruktuuriin tehdyt kapasiteettilisäykset	47
3.2.6	Satamaoperaattorin käyttämät tiedot sataman infrastruktuurista	48
3.2.7	Sataman infrastruktuurin rajoitteet	50
3.3	Sataman ongelmat	51

4	Satamaoperaattorin mallintaminen	53
4.1	Prosessin vaiheet	53
4.2	Läpivirtauksen ja käsittelyn nopeuden laskenta	54
4.3	Kapasiteetin ala- ja ylärajat	56
4.4	Satamaoperaattorin kapasiteettilisäykset	57
4.5	Mallintamatta jätetyt parametrit	60
4.6	Tuotettu malli	61
4.6.1	Mallin kuvaus	61
4.6.2	Mallin rakenne	64
4.6.3	Testattavat liikennemäärät	65
4.6.4	Testien tulokset	67
4.6.5	Sataman läpivirtauksen yläraja ja nykyinen kapasiteetti	70
4.6.6	Tunnistettut pullonkaulat ja tarvittavat kapasiteettilisäykset	73
4.6.7	Pansion sataman ja Vuosaaren sataman vertailu	78
5	Tulokset	82
5.1	Puoliperävaunujen purkamisen päävaiheet satamassa	82
5.2	Tutkittavan prosessin kapasiteetin ongelmat	82
5.3	Läpivirtausta eniten heikentävät tilanteet ja muutosten suuruus	87
5.4	Järjestelmät osat, joiden lisäkapasiteetti parantaa sataman kapasiteettijoustavuutta	88
5.4.1	Teoriaosuudessa tunnistettuja järjestelmän osan lisäkapasiteetteja	88
5.4.2	Haastatteluissa tunnistettuja järjestelmän osan lisäkapasiteetteja	89
5.4.3	Toteutettuja järjestelmän osan lisäkapasiteetteja	90
5.4.4	Tutkimuksessa tunnistettuja pullonkauloja ja niihin sopivia lisäkapasiteetteja	91
5.5	Läpivirtaus ja mittaaminen	92
5.6	Laskentamallin toimivuus ja virheettömyys	94
5.6.1	Käytetyn datan kattavuus ja luotettavuus	94
5.6.2	Tehtyjen rajausten vaikutukset	96
5.6.3	Tuotetun mallin kyky kuvata todellista toimintaympäristöä	100
5.6.4	Ratkaisutapa	103
5.6.5	Tuotettujen tietojen vastaavuus todelliseen toimintaympäristöön	106
5.6.6	Siirrettävyyden ja käyttökelpoisuuden arviointi	107
6	Johtopäätökset	109
	Lähdeluettelo	112

## LIITTEET

1	Lähtötiedot	121
1.1	Nykytilan analyysin ja satamaoperaattorin mallintamisen taulukot	121
1.2	Vuosaaren sataman lokakuun 2009 laivakäynnit	129
1.3	Turun sataman liikennemäärät	135
1.3.1	Aluskäynnit	137
1.3.2	Alusten korvattavuus	138
1.4	Pansion ja Länsisataman infrastruktuuri	139
1.4.1	Rampit	140
1.4.2	Varastokentät	142
1.4.3	Liikenneväylät	143
1.5	Pansion sataman satamaoperaattori	143
1.6	Kuljetusyritysten noudot	145
2	Testit	146
3	Satamaoperaattorin prosessit	172
4	Vetomestareiden mallintaminen	182
4.1	Vetomestareiden käyttö aluksen kansilla	182
4.2	Vetomestarin kapasiteetin käytön laskenta	185
4.2.1	Vetomestarin vetomatka aluksen kansilla	185
4.2.2	Vetomestarin vetomatka varastokentällä	190
4.2.3	Purkausaika	192
4.2.4	Varastokentältä noutojen vaikutus vetomatkan lyhenemiseen	193
4.3	Laivausehdot, perävaunuehto (engl. trailer term)	200
4.4	Maksimitehon käyttö	201
4.4.1	Maksimitehon käsite	201
4.4.2	Maksimitehon vaihteluvälin laskeminen	203
4.4.3	Maksimitehon ylläpitäminen	206
4.4.4	Maksimitehon laskemiseen epätarkkuutta lisääviä tekijöitä	207
4.4.5	Esimerkki täyteen lastatun aluksen purkamisesta maksimiteholla	209
4.4.6	Esimerkki satamaoperaattorin kapasiteettitarpeista	210
4.4.7	Ramppien tekniset rajoitteet maksimitehon saavuttamisessa	211
4.4.8	Esimerkki varastokentän käytöstä noutojen tehostamisessa	213
4.4.9	Esimerkki maksimitehon vaikutuksesta varastokentän kokoon	214
4.5	Ramppitehon, noutotehon ja vetotehon laskenta	218

4.5.1	Aluksen purkausnopeuden laskenta ramppitehon avulla	218
4.5.2	Aluksen toteutuvan purkausnopeuden ja satamaoperaattorin kuormituksen laskenta vetoteholla	218
4.5.3	Noutotehon laskenta	220



## KUVALUETTELO

Kuva 1 Tutkimuksen laajuus, tutkittavat vaiheet ja muutokset	3
Kuva 2 Kapasiteettilisäysten ajoitus.	8
Kuva 3 Kapasiteettijoustavuuden tarvitsema kapasiteetin mitoitus.	10
Kuva 4 Rajoitteiden ohjaama kapasiteetin suunnittelu	12
Kuva 5 Kapasiteetin mallintamisen tarvitsemia määrittelyjä	14
Kuva 6 Ropax-aluksen neljä lastikantta.	25
Kuva 7 Finnforest-aluksen peräramppi ja laituripaikan maaramppi.	26
Kuva 8 Aluksen täyttäminen kaksoisrampilta	26
Kuva 9 Satamaoperaattorin vetomestari.	29
Kuva 10 Operaattorin portti.	30
Kuva 11 Vaihtoehtoiset kapasiteettistrategiat ro-ro-kuljetusten kapasiteetin mitoittamisessa.	31
Kuva 12 Purkamisaika ja kapasiteetin mitoitus	34
Kuva 13 Nykytilan analyysin kattama alue	35
Kuva 14 Alusten käyntikerrat eri viikonpäivinä	36
Kuva 15 Varustamon liikenteestä käsiteltävät ulkoiset muuttajat	38
Kuva 16 Vuosaaren sataman satamaoperaattoreita, varustamoja ja terminaaleja	39
Kuva 17 Oy Finnsteve Ab satamaoperaattorin terminaali-alue	40
Kuva 18 Varastokentät alkavat kaksoisramppien välittömästä läheisyydestä.	44
Kuva 19 Varustamon liikenne ja sataman infrastruktuurin asettamat rajoitteet liikenteelle ja kuljetusmäärille	50
Kuva 20 Teorian perusteella tuotettavan mallin rakenne	52
Kuva 21 Satamaoperaattorin prosessin päävaiheet	53
Kuva 22 Puoliperävaunujen purkamisen päävaiheet satamassa	54
Kuva 23 Kapasiteetin mitoitus puoliperävaunujen purkauksessa	55
Kuva 24 Läpivirtauksen määräytyminen ramppi-, veto- ja noutotehon perusteella	56
Kuva 25 Vuosaaren sataman ramppitehon ja noutotehon parannukset	57
Kuva 26 Vuosaaren sataman vetotehon vaikuttavat parannukset	58
Kuva 27 Sataman läpivirtausta heikentävien tapahtumien sekä ramppi- ja noutotehon testaaminen	63
Kuva 28 Laskennan eteneminen tuotetussa laskentamallissa	64
Kuva 29 Testeissä havaitut vaikutukset ramppitehoon ja noutotehoon	67
Kuva 30 Testi 7 vetotehon parantaminen	69
Kuva 31 Noutojen kehittäminen voi ruuhkauttaa varastokentän	74
Kuva 32 Turun sataman satamanosat verrattuna Vuosaaren satamaan	78
Kuva 33 Turun satamanosien vetoteho verrattuna Vuosaaren satamaan.	80
<i>Kuva 34 Sataman kapasiteettijoustavuuteen liittyvät mittarit</i>	93
Kuva 35 Sataman toiminnan kolme erillistä osa-aluetta	101
Kuva 36 Sataman kapasiteettiin vaikuttavia osatekijöitä.	102
Kuva 37 Haasteita kapasiteettilisäysten laskennassa ja mallin tuottamisessa	104
Kuva 38 Lastit alusluokittain lokakuussa 2009 ro-ro-tuontikuljetuksissa Vuosaaren satamaan.	122

Kuva 39 Kuljetettavien yksiköiden kappalemäärien vaihtelu lokakuussa 2009	131
Kuva 40 Purettavan lastin viikonpäivittäinen vaihtelu ja keskiarvo	132
Kuva 41 Aluksista purettujen kappalemäärien vaihtelu alusluokittain verrattuna keskimääräiseen alukseen	132
Kuva 42 Purettu lasti alusluokittain ja viikonpäivittäin vertailtuna	133
Kuva 43 Puretut kappalemäärät 4216 kaistametrin aluksissa eri reiteillä	134
Kuva 44 Kokoluokan 4216 kaistametriä aluksista puretut kuormat vertailtuna kaistametrin kokonaismäärillä	135
Kuva 45 Purkausajan piteneminen Vuosaaren satamaan liikennöivien alusten lastauskertoimen kasvaessa ja aluskäyntien lisääntyessä	148
Kuva 46 Aluksen rakenne, käytetyt muuttajat ja tuotetut kaavat	186
Kuva 47 Aluksen kansirakenteista ja lastista laskettavat vetomatkat	189
Kuva 48 Vetomatkojen laskentaan käytettävät tiedot	191
Kuva 49 Maksimitehon muodostumisen osatekijöitä	201
Kuva 50 Maksimitehon saavuttaminen eri alustyypeillä	202
Kuva 51 Laskentaan epätarkkuuksia aiheuttavia tekijöitä	208
Kuva 52 Esimerkki satamaoperaattorin vetoon käyttämän ajan liittymisestä kapasiteettitarpeisiin	219

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1 Kuljetusvälineiden sitomisen tilantarve aluksessa	28
Taulukko 2 Alusten kapasiteetin käyttöasteeseen vaikuttavia tekijöitä ja keinoja käyttöasteen parantamiseen.	32
Taulukko 3 Kapasiteetin mitoittamiseen käytettyjen mittareiden arvot.	33
Taulukko 4 Tilanne liikennemäärien kasvattamisen jälkeen	66
Taulukko 5 Testissä 1 purettavat aluskäynnit ja kuljetusyksiköt	66
Taulukko 6 Testien 1 - 7 tulokset	68
Taulukko 7 Vuosaaren sataman läpivirtaus	73
Taulukko 8 Turun satamassa purettavat Vuosaaren sataman aluskäynnit	81
Taulukko 9 Varustamon pääreitit, liikennöinti ja alusluokat Vuosaaren satamanosassa.	121
Taulukko 10 Varustamon käyntikerrat ja alukset Vuosaaren ja Turun satamiin 1.10. – 1.11.2009	121
Taulukko 11 Esimerkki käytetystä kapasiteetista ja lastauskertoimesta yhdellä aluskäynnillä.	122
Taulukko 12 Saapuvat alukset, kuljetusyksiköt ja yksikkömäärät.	123
Taulukko 13 Purkausnopeudet eri lastilajeille.	124
Taulukko 14 Ramppitehoon vaikuttavia tekijöitä.	124
Taulukko 15 Vuosaaren ja Pansion sataman liikenteessä lokakuussa 2009 käytettyjen alusten ramppien rajoitteet.	125
Taulukko 16 Sataman ramppien vaikutus alusten ramppitehoon ja kykyyn lastata ja purkaa täysiä aluksia.	126
Taulukko 17 Satamaoperaattorin puoliperävaunukentät Vuosaarella.	127
Taulukko 18 Varastokentän rivien yhteismäärän laskeminen	127
Taulukko 19 Satama-alueen ulosajon läpivirtaus	127
Taulukko 20 Varastokentältä varattujen ruutujen laskeminen	128
Taulukko 21 Alusten purkausaika maanantaiaamuna satamainfrastruktuurin rajoitteilla eli ramppiteholla laskettuna	128
Taulukko 22 Kapasiteettijoustavuus, rajoitteet ja pullonkaulat	128
Taulukko 23 Varustamon pääreitit, liikennöinti ja alusluokat Pansion satamanosassa.	136
Taulukko 24 Pansion sataman ja Saksan välinen roro-linjaliikenne huhtikuussa 2010.	136
Taulukko 25 Turun sataman satamanosien roro-rampit .	141
Taulukko 26 Lopputilanteessa viikolla 10 kuljetettavat lastit	146
Taulukko 27 Varustamon liikenteen elementtejä	148
Taulukko 28 Varustamon liikenteen muuttujia	149
Taulukko 29 Sataman infrastruktuurin elementit	150
Taulukko 30 Sataman infrastruktuurin muuttujia	151
Taulukko 31 Satamaoperaattorin elementit ja parametrit	151
Taulukko 32 Satamaoperaattorin muuttujat	152
Taulukko 33 Seurattavat mittarit	153
Taulukko 34 Raportoittavat muutokset ja tulokset	155
Taulukko 35 Vuosaaren sataman kapasiteetin osatekijöitä	155
Taulukko 36 Testi 1, purkausaikoja kokoluokan 4216 kaistametriä aluksilla	157

Taulukko 37 Testi 1, liikennemäärät	158
Taulukko 38 Testi 1, sataman infrastruktuuri ja satamaoperaattori	158
Taulukko 39 Testi 1, noudot	159
Taulukko 40 Testi 2, ramppiteho heikkenee ja purkaus venyy yli sataman aukioloajan	160
Taulukko 41 Testi 3, noutoteho heikkenee ja sataman varastokenttä täyttyy	161
Taulukko 42 Testi 5, purkausaikoja kokoluokan 4216 kaistametriä aluksilla, kaikki kuorma-autoina	162
Taulukko 43 Testi 5, liikennemäärät, kaikki kuorma-autoina	163
Taulukko 44 Testi 5, sataman infrastruktuuri ja satamaoperaattori, kaikki kuorma-autoina	164
Taulukko 45 Testi 5, noudot, kaikki kuorma-autoina	164
Taulukko 46 Testi 6, liikennemäärät	165
Taulukko 47 Testi 6, noudot lisääntyvät ja varastokentän tarve pienenee	166
Taulukko 48 Testi 6, sataman läpivirtauksen muutos	166
Taulukko 49 Testi 7c, tarvittava maksimiteho	168
Taulukko 50 Testi 7a. Lisätään puoliperävaunujen määrää ja tarkistetaan purkausajan ylitys	169
Taulukko 51 Testi 7b. Selvitetään vetoteho, jolla koko alus pystytään purkamaan klo 11.00 mennessä	170
Taulukko 52 Vetomestareiden jakautuminen aluksen kansille	182
Taulukko 53 Alustyytit, kannet ja kansilla olevat kaistat	183
Taulukko 54 Lastin sijoittelu kansille 1 - 4 eri alustyypeillä viikon 2 maanantaina	184
Taulukko 55 Noudot varastokentältä viikon 2 maanantaina, käytävien määrän ja ohjaustavan vaikutus	198
Taulukko 56 Viive ruudun vapautumisessa seuraavalle pudotukselle	199
Taulukko 57 Aluksen purkauksen tehokkuuteen käytetyt mittarit	201
Taulukko 58 Ajomatkat kokoluokan 4216 kaistametriä aluksen pääkannella työskenneltäessä, noutoja ja ruuhkaa ei huomioitu	204
Taulukko 59 Varastokentän kuormitus tutkituissa tilanteissa	216

## KÄYTETYT LYHENTEET

Ka	Kuorma-auto, pituus enintään 16,5 m
KET	Keskeneräinen tuotanto
Pv	Puoliperävaunu, pituus enintään 13,6 m
Roro	Roll-in roll-out
TOC	Theory of Constraints
(nro)	Tutkimuksessa tuotettu kaava, johon viitataan tekstissä tai muissa kaavoissa. Kaava ilmoitetaan numerona sulkujen sisällä, esimerkiksi (1) viittaa läpivirtausajan kaavaan kohdasta 1.1.3.4.
HVK	Huoltovarmuuskeskus

## KÄYTETYT TERMIT

Kaistametri	Aluksen kannella oleva yhden kaistan levyinen ja yhden metrin pituinen alue.
Kapasiteettijoustavuus	Prosessin kyky selviytyä toistuvista ja vaihtelevista kapasiteettihuipuista. Prosessiin on mitoitettu kapasiteettilyijäämä, joka voi joustavasti sopeutua muutoksiin. Avainsana: capacity flexibility
Lastauskerroin	Aluksen käytetty kapasiteetti yhden aluskäynnin aikana. Lastauskerroin mitataan todellisten käytettyjen kaistametriä osuutena kaikista kaistametreistä. Avainsana: load factor
Läpivirtauksen aika	Prosessiin käytetty aika. Volyymin siirtymiseen kahden pisteen välillä kuluva aika. Avainsana: throughput time, Littlen laki
Läpivirtauksen tehokkuus	Prosessin tehokkuus. Avainsana: throughput efficiency
Prosessin läpivirtaus	Volyymi, joka läpäisee prosessin aikayksikössä. Avainsana: throughput.
Ramppiteho	Rampin ylittävien vetojen määrä tunnissa mitattuna aluksen koko purkauksen ajalta. Alan vakiintunut termi. Erotettava tahtiajasta, joka kuvaa kahden rampin ylittävän vedon välillä keskimäärin kuluvaan aikaan.
Roro-alus	Merialus, johon maantie- ja rautatieajoneuvot voivat ajaa sisään ja ulos. (EU, 2003)

	Yleisnimitys lastia kuljettavalle roro-alukselle ja sekä lastia että matkustajia kuljettavalle ropax-alukselle.
Roro-lasti	Roro-yksiköissä olevat tavarat, jotka joko ovat tai eivät ole konteissa, ja roro-yksiköt, jotka siirretään pyörien päällä aluksiin tai aluksista, joissa ne kuljetetaan meritse. (EU, 2009)
Roro-liikenne	Lastilaivaliikenne
Roro-yksikkö	Pyörillä varustettu tavarankuljetusväline, kuten kuorma-auto tai perävaunu, joka voidaan ajaa tai vetää alukseen tai junaan. Satamissa ja aluksissa käytettävät perävaunut kuuluvat tämän määritelmän piiriin. (EU, 2009)
Ruutu	Varastokentän pienin osa, johon puoliperävaunu pudotetaan. Ruudut muodostavat varastokentälle rivejä.
Satamaterminaali	Varsinaiset terminaalirakennukset ja tavarankäsittelyyn tarkoitetut ulkotilat. Laivasta purettu tai laivaan lastattava lasti tai osa siitä ohjautuu satamaterminaaleihin. (Karhunen et al., 2008:409.)
Tahtiaika	Rampille ilmoitettu aika, joka keskimäärin kuluu rampin ylittävien vetojen välillä. Avainsana: cycle time, takt time
Vetomestari	Satamaoperaattorin työkone, jolla vedetään puoliperävaunuja satama-alueella.
Vetoteho	Vetomestarin aluksesta varastokentälle vetämien kuljetusyksiköiden määrä. Mitataan keskimäärin koko purkauksen ajalta.

# **1 Johdanto**

## **1.1 Tutkimuksen tausta**

Tavoitepäättös huoltovarmuudesta tähtää logistiikan toimivuuteen kaikissa tilanteissa (VNp 27.08.2008/539). Erityisen haastavina pidetään useiden kuukausien pituisia häiriötilanteita, joissa toimitaan normaaliolojen valtuuksilla. Vaikka valtiojohdolle olisi mahdollista ottaa käyttöön erityisvaltuuksia, poliittisen tilanteen takia pyritään pysymään normaalioloissa. Tutkittavat häiriötilanteet ovat hypoteettisia ja niitä ei voida järjestää kokeellisesti. Tilanteisiin tulee kuitenkin voida valmistautua ja tilanteita tulee voida suunnitella.

Huoltovarmuuskeskus (HVK) kutsui koolle työpajan 3.3.2010 tuottamaan arvioita logistiikan toimintakyvystä vakavassa häiriötilanteessa. Tuloksena koottiin osallistujien mielestä tärkeitä häiriötekijöitä. Normaalioloissa esiintyvä häiriö on esimerkiksi satamien toimintojen häiriö. Sataman läpivirtausaikaa tulee pyrkiä lyhentämään ja kuljetusyksikköjen tulisi pysähtyä satamaterminaaliin mahdollisimman lyhyeksi ajaksi. Läpivirtauksen parantaminen on kriittistä tilanteissa, joissa sataman läpi virtaavat kuljetukset lisääntyvät huomattavasti. Tällöin kapasiteetin on joustettava.

Sataman kapasiteettitarpeista ja kapasiteettijoustavuudesta on tuotettava laskentamalli. Lähtökohtana ovat huoltovarmuudelle merkitykselliset Euroopan sisäiset kuorma-autojen ja perävaunujen merikuljetukset.

## **1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusongelmat**

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää sataman kapasiteettijoustavuus. Tutkimuksessa pyritään löytämään sataman kapasiteettijoustavuuden arvioinnille sopivat mittarit.



Tutkimusongelmana on selvittää, kuinka puoliperävaunujen purkamisen kapasiteettitarpeita ja läpivirtausta satamassa tulisi mitata. Tärkeimpänä vaatimuksena on täyteen lastattujen alusten purkaminen määrätyssä ajassa, jota vastaan kapasiteetin joustavuus ja kapasiteettitarpeet lasketaan. Ongelman ratkaiseminen mahdollistaa läpivirtausta heikentävien tilanteiden tunnistamisen. Jo ennalta voidaan varautua kapasiteettitarpeisiin, kun aluksista purkautuvien puoliperävaunujen kokonaismäärä kasvaa. Sataman kapasiteetti voidaan mitoittaa vastaamaan tavoitteena olevaa kapasiteettijoustavuutta.

Tutkimuskysymyksen tueksi asetettiin neljä osakysymystä

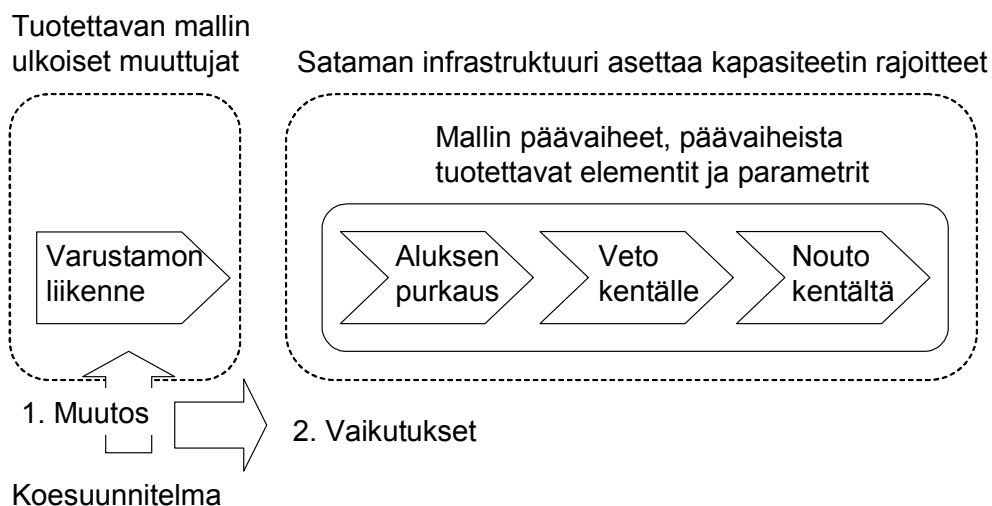
- Mitkä ovat puoliperävaunujen purkamisen päävaiheet satamassa
- Mitkä ovat tutkittavan prosessin kapasiteetin ongelmat
- Mitkä tilanteet ja kuinka suuret muutokset heikentävät läpivirtausta
- Mikä on järjestelmän osa, jonka lisäkapasiteetti parantaa sataman kapasiteettijoustavuutta

Tuloksena ovat kuvaus mallinnettavasta tilanteesta ja sen kapasiteettiongelmista, tuotettu laskentamalli ja mallia testattaessa tuotetut laskelmat.

### **1.3 Tutkimuksen laajuus ja rajaukset**

Tutkittava kohde on Vuosaaren sataman yksi satamanosa. Tutkittavia merikuljetuksia ovat kuorma-autojen ja puoliperävaunujen roro- ja ropax-kuljetukset. Tutkittavat tapahtumat käynnistyvät sataman sisään tuloväylällä ennen alusten kiinnittymistä satamaterminaalien laituripaikkoihin. Päättymispiste on satamaoperaattorin portti, josta puoliperävaunut ajavat ulos. Tutkittava prosessi sisältää kolme vaihetta, joita ovat alusten purkaus, puoliperävaunujen vetäminen varastokentälle ja kuljetusyritysten noudot varastokentältä. Tutkimuksessa muutetaan varustamon liikennettä ja arvioidaan muutoksen vaikutuksia tutkittavaan

prosessiin. Tutkittava kohde on esitetty tiiviisti kuvassa 1. Vuosaaren satamasta tuotettujen tulosten vertailukohtana ovat Turun sataman Länsisataman ja Pansion sataman satamanosat.



*Kuva 1 Tutkimuksen laajuus, tutkittavat vaiheet ja muutokset*

Vaikka mallinnettava tilanne on normaaliolojen vakava häiriötilanne, kaikessa toiminnassa noudatetaan normaaliolojen lakeja, säännöksiä ja määräyksiä. Suomen ulkomaankaupan viennin kapasiteettitarpeet eivät muutu tutkittavan tilanteen aikana. Kapasiteettia ei siis vapaudu muista toiminnoista.

Tutkimus ei tarkastele kuljetettavia tavaralajeja tai niiden paino- tai tilavuusvaatimuksia. Yleensä kuljetuksia tilaavat asiakkaat mitoittavat tarvitsemansa kuljetukset kuljetettavien tavaravirtojen kokonaismäärän mukaisesti. Tulli ja Merenkululaitos eivät ole tilastoineet aluskäynneistä purkautuvien kuorma-autojen ja puoliperävaunujen sisältöä. Tosin Turun yliopiston Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus on kerännyt tilastotietoja ja tuottanut menetelmän tavaramäärän muuttamiseksi kuorma-autojen ja perävaunujen kuljetusyksiköiksi. Tuotetut tiedot ovat kuitenkin vain arvioita kuljetusyksiköiden kokonaismäärästä satama- ja tavararyhmäkohtaisesti sekä toimialoittain. (Rautiainen, 2010)

Tutkimus ei tarkastele kuvattavan prosessin päävaiheiden osaprosesseja, osaprosessien muutoksia. ja muutosten vaikutuksia.

Tutkimuksessa tunnistetaan osaprosesseja, jotka havaintojen ja laskelmien perusteella saattaa olla tarve selvittää tarkemmin jatkotutkimuksissa.

#### **1.4 Tutkimusmenetelmän valinta ja käytetty aineisto**

Sataman kapasiteettijoustavuus selvitetään menetelmällisesti prosessikuvauksella ja laskentamallilla. Mallintamisen vaiheita olivat lähtötietojen tuottaminen, rajoitusten määrittely, prosessien mallintaminen, muutosten laskenta ja tulosten dokumentointi.

Tutkimuksen teoriaosaan haetaan tietoa toimitusketjujen kapasiteetin suunnittelutehtävistä ja kapasiteetin mittaamisesta. Nykytilan analyysissä kuvataan sataman nykyiset liikennemäärät, käytettävissä oleva kapasiteetti ja kapasiteettiongelmat. Tietoja muutellaan laskentamallissa satamaoperaattorin prosesseihin vaikuttavien hypoteettisten tilanteiden mukaisesti.

Mallintamisesta varten kerätyt tiedot kuvasivat kohdealueen prosesseja ja osajärjestelmiä. Prosessien tuottamiseen tarvittavat tiedot on kerätty haastattelemalla, julkisista lähteistä ja kohdeorganisaation käyttöön antamista mittaustiedoista. Osajärjestelmien tiedot koottiin opetusmonisteista, oppaista ja raporteista sekä viranomaisten julkaisuista. Liikennemäärät tuotettiin käyttämällä julkisia lähteitä ja kohdeorganisaation tietoja. Tarkasteltu aikajakso ajoittui vuoden 2009 kapasiteetin käytön huippukuukauteen eli lokakuuhun. Koottuja tietoja tarkastellaan alusluokittain ja satamaoperaattorin työvaiheiden ja eri työvaiheissa tarvittavan kapasiteetin mukaisesti.

Koska tutkimuksessa käsitellään hypoteettista tilannetta, tulosten oikeellisuus ja virheettömyys on tarkistettu asiantuntijavalidoinnilla.

## 1.5 Työn rakenne

Tutkimus jakautuu kuuteen osaan. Ensimmäinen osa kuvaa työn taustan, tavoitteet, ratkaistavat ongelmat ja käytettävän menetelmän. Toinen osa kuvaa käytetyn teoriapohjan. Aluksi kuvataan toimitusketjun kapasiteetin yleistä suunnittelua ja mittaamista. Tämän jälkeen kuvataan intermodaalikuljetuksista lähimerenkulun satamaan liittyvä osuus. Teoriaosan lopussa asetetaan tavoitteet empiiriselle osalle.

Kolmas osa on työn empiirinen osuus. Empiirinen osa jakautuu kahtia. Aluksi kuvataan mallinnettavan kohteen nykytila. Nykytila-analyysi sisältää kuvauksen varustamon liikenteestä ja sataman infrastruktuurista. Varustamon liikenne tuottaa malliin ulkoiset lähtötiedot ja sataman infrastruktuuri asettaa rajoitteet mallin kapasiteetille ja läpivirtaukselle.

Neljäs osa on työn mallintaminen. Malli kuvataan, mallin tarvitsemat tiedot tuotetaan, malli toteutetaan ja mallista esitetään laskelmat. Viidennessä osassa esitetään tulokset ja arvioidaan sataman kapasiteettijoustavuutta. Kuudennessa osassa esitetään johtopäätökset.

## 2 Teoriaosuus

### 2.1 Toimitusketju

Toimitusketju on eri toimijoiden ja tilojen, toimintojen ja tehtävien muodostama kokonaisuus, joka tuottaa tai jakelee tuotteita tai palveluja. Toimitusketju alkaa raaka-aineiden hankinnasta ja päättyy loppuasiakkaan saatua tilaamansa tuotteen tai palvelun. (Stevenson, 2005:511) Toimitusketjut voidaan tyypitellä toiminnallisten attribuuttien perusteella hankinnan, tuotannon, jakelun ja myynnin toimitusketjuiksi (Stadtler ja Kilger, 2005:66). Toimitusketjun hallinta pyrkii minimoimaan koko järjestelmän kustannukset ja samanaikaisesti täyttämään asetetut palveluvaatimukset (Simchi-Levi et al., 2007:1).

Toimitusverkosto liittää toimitusketjut toisiinsa. Toimitusverkoston näkökulmaa käytetään pitkän aikavälin suunnittelussa, kun tehdään päätöksiä verkoston rakenteista ja kapasiteetin lisäyksistä. (Slack et al., 2010:140) Toimitusketjun näkökulmaa käytetään erityisesti toiminnan kehittämisessä. Analysoitavana kohteena voi olla toimitusverkoston yksi toimitusketju tai määrättyjen fyysisten tuotteiden ja palvelujen kulku loppuasiakkaalle. (Slack et al., 2010:375)

#### 2.1.1 Logistiikan prosessit

Logistiikka on yleisnimitys materiaalin, palveluiden, rahan ja tiedon kuljettamiselle toimitusketjussa (Stevenson, 2005:531). Logistiikan hallinta ja johtaminen (engl. logistics management) pyrkii toiminnan tehokkuuteen integroimalla kaikki materiaalin hankintaan, kuljettamiseen ja varastointiin liittyvät toiminnot ja tehtävät (Heizer and Render, 2006:448).

Kuljettamisen ja varastoinnin osuus voi olla huomattava yrityksen toimitusketjussa tai valmistettujen tuotteiden kokonaiskustannuksissa (Heizer ja Render, 2006:448). Kuljetusten suunnittelu sisältää päätöksiä

käytettävistä kuljetusmuodoista, kuljetusyritysten valinnasta, kaluston reitittämisestä ja muista yrityksen toimitusketjuihin liittyvistä päätöksistä (Shapiro, 2006:6). Suorituskykyinen prosessi tarkoittaa suunnitellulla tavalla toimivaa prosessia. Prosessi on suorituskykyinen, mikäli prosessin tavoitearvo täyttyy ja toteutuma pysyy sallitun vaihteluvälin sisällä (Krajewski ja Ritzman, 2005:217). Prosessi ei ole suorituskykyinen, mikäli prosessin tulos poikkeaa tavoitearvosta ja toteuma ylittää sallitut rajat.

Liikenteen hallinta on logistiikan osa, joka kattaa kuormien saapumisen ja lähtemisen valvonnan (Stevenson, 2005:531). Liikenteen suunnitteluun liittyy oleellisena osana välineiden käytön ajoitus ja käytettävissä olevan kenttätilan tai laitureiden hallinta. Mikäli kuljetusvälineet joutuvat odottamaan purkamista ja lastausta, syntyvä operatiivinen pullonkaula voi aiheuttaa runsaasti kustannuksia. (Bowersox et al., 2007:202)

Edellä kuvattuun jaotteluun perustuen todetaan, että tämän tutkimuksen painopisteenä on liikenteen hallinta.

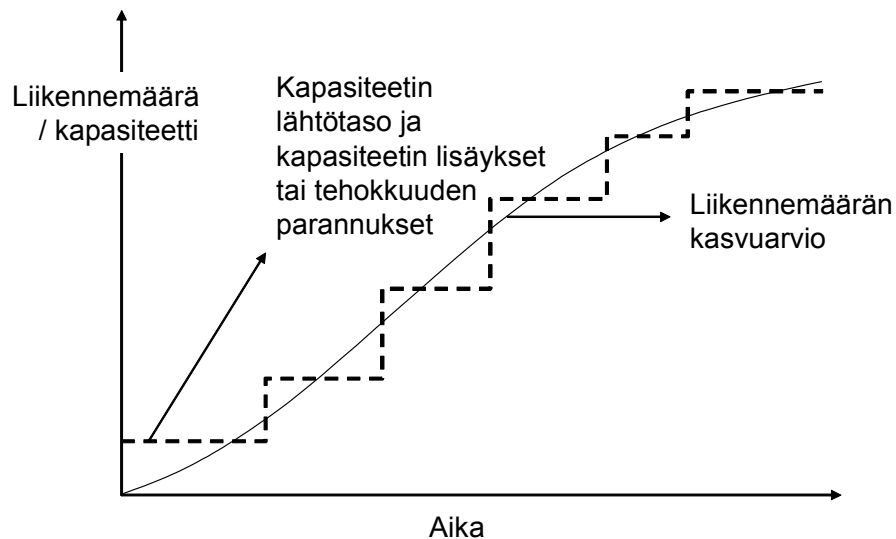
## 2.1.2 Kapasiteetin suunnittelu

### 2.1.2.1 Pitkän ja keskipitkän aikavälin suunnittelutehtävät

Toimitusketjun hallintaan liittyy eritasoista suunnittelua (Stevenson, 2005:518). Suunnittelun tuloksena on erilaisia pitkän aikavälin investointeja, keskipitkän aikavälin suunnitelmien mukainen kapasiteetin taso ja lyhyen aikavälin ongelmien ratkointia (Stevenson, 2005:43).

Jakelun ja kuljetusten suunnittelutehtäviin ei ole vakiintunutta rakennetta (Stadtler ja Kilger, 2005:242–243). Kuljetusten suunnittelu sovittaa kuljetuskapasiteetin kuljetustarpeisiin (Stevenson, 2005:518). Suunnitelmat määrittelevät kuljetusverkoston solmukohdissa tarvittavan kapasiteetin (Stadtler ja Kilger, 2005:67). Suunnittelun yhtenä tavoitteena on esimerkiksi liikennemäärän muutosten edellyttämä kapasiteetin joustavuus (Slack et al., 2010:300).

Kapasiteettivaatimukset määritellään sekä pitkälle aikavälille että lyhyen aikavälin kausivaihtelulle (Stevenson, 2005:192). Pitkän aikavälin kapasiteettipäätökset rajoittavat kapasiteetin käyttösuunnitelmaa (Stevenson, 2005:612). Joustavuuden edellyttämä ylimääräinen kapasiteetti voidaan lisätä vaiheittain, kapasiteettivaatimusten kasvun mukaisesti (Krajewski ja Ritzman, 2005:253). Kapasiteetin vaiheittaista lisäystä on selvennetty kuvassa 2 (Slack et al., 2010: kuva 6.10).



*Kuva 2 Kapasiteettilisäysten ajoitus.*

Valittavat tekniset järjestelmät on tunnettava hyvin, jotta kapasiteettilisäykset vastaavat asetettuja vaatimuksia (Heizer ja Render, 2006:288). Kapasiteettimuutokset voivat vaikuttaa koko toimitusketjun laajuisesti. Muutoksista tulisi sopia yhteistyössä sopimuskumppaneiden kanssa. Järjestelmän kaikkien osien kapasiteetti tulee sopeuttaa muutokseen. Mikäli näin ei toimita, järjestelmä voi joutua epätasapainoon ja järjestelmään syntyy pullonkauloja. (Stevenson, 2005:197)

Pitkällä aikavälillä kapasiteettilisäysten on oltava oikein ajoitettuja. Keskimäärin kapasiteettitarpeen ja kapasiteetin kokonaismäärän on oltava tasapainossa. (Heizer ja Render, 2006:290)

Resurssien allokoinnista päätetään yleensä keskipitkän aikavälin suunnitelmissa (Shapiro, 2006:6). Noin 2-18 kuukauden jaksoissa esiintyy kausittaisia vaihteluita ja muutoksia tuoteryhmissä tai

tuotantoprosesseissa (Slack et al., 2010:299). Mitoitusta tehdään suurempina kokonaisuuksina, jolloin yksittäiset tuotteet tai tuoteryhmät eivät korostu (Simchi-Levi et al., 2007:108).

Keskipitkän aikavälin kapasiteettisuunnittelun tärkeimpiä tuloksia ovat koko yrityksen kapasiteetin käyttösuunnitelmat ja kapasiteettilisäykset. Tätä alemmalla tasolla käyttötarve vaihtelee. (Stadtler ja Kilger, 2005:166) Vaihtelujen vaikutuksia tasoitetaan esimerkiksi esittämällä kuljetustarpeet kalustoryhmittäin, ei yksittäisten työkonoiden tai ajoneuvojen tarkkuudella. Tuotettujen tietojen perusteella voidaan arvioida lisäkapasiteettitarpeita ja suunnitella kuljetusyritysten käyttöä. (Stadtler ja Kilger, 2005:87–91)

Lopuksi tuotetut kapasiteettitarpeet yhdistetään (Stadtler ja Kilger, 2005:165). Yhdistetystä suunnitelmasta voidaan tarkistaa, ylittävätkö yritystasolla asetetut kapasiteettirajat. Mikäli kapasiteettia varanneiden yksiköiden tarpeet ylittävät käytössä olevat resurssit, tiedot kapasiteettiylityksistä ja syntyvistä pullonkauloista toimitetaan takaisin kapasiteettia varanneisiin yksikköihin. (Stadtler ja Kilger, 2005:173)

Suunnitelmien toimivuus tarkastetaan päivittäisen volyymin ja prosessien perusteella, kun mallinnetaan kuvattavan tilanteen operatiivisia ongelmia. (Stevenson, 2005:196, 207)

#### 2.1.2.2 Kapasiteettijoustavuus

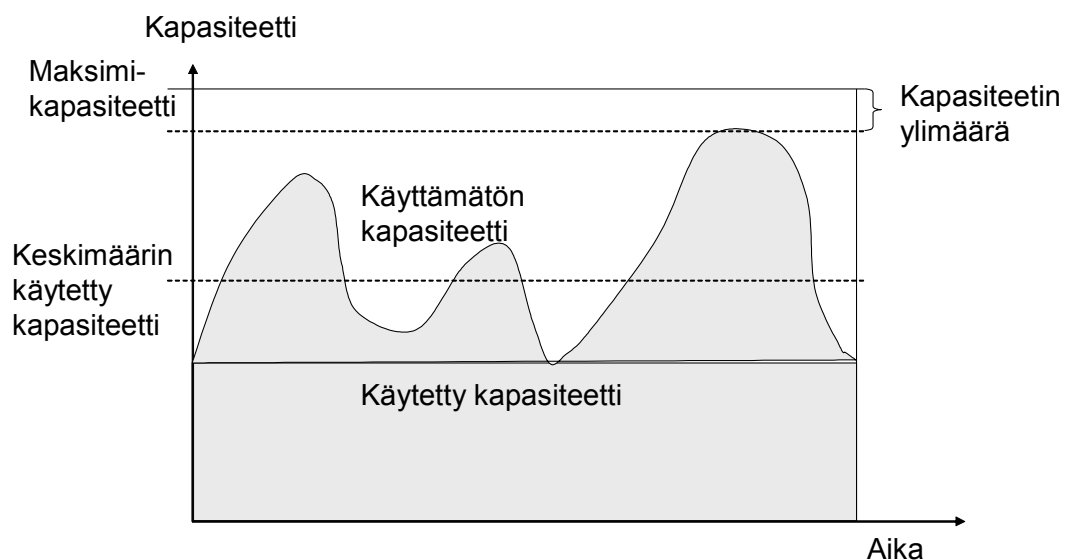
Joustavuus on yrityksen ominaisuus, jolla vastataan muuttuviin tarpeisiin. Yksi joustavuuden laji on toiminnan nopea sopeutuminen kysynnän volyymiin. Joustavuutta voidaan tutkia vertailemalla tilanteita, joissa esiintyy suuria kysyntäpiikkejä. (Krajewski ja Ritzman, 2005:65) Joustavuutta voidaan arvioida tekemällä tutkittavasta tilanteesta kokonaisanalyysi.

Kapasiteettijoustavuudella tarkoitetaan kapasiteetin suunnittelun ja seurannan tavoitteena olevaa joustavuutta, joka syntyy oikein mitoitettujen lisäkapasiteetti-investointien tuloksena.



Kapasiteettijoustavuus on edellytyksenä, jotta prosessi kykenee sopeutumaan kysynnän odottamattomaan kasvuun. (Slack et al., 2010:301) Lyhyen aikavälin kausivaihtelut ja satunnaiset kysynnän muutokset voivat asettaa vaatimuksia kapasiteetin joustavuudelle (Stevenson, 2005:207).

Tarvittava kapasiteetin ylimäärä on suunniteltava ennalta. Kapasiteetin ylimäärää on selvennetty kuvassa 3 (Styhre, 2009). Kapasiteetti ei kykene vastaamaan volyymimuutoksiin kysynnän ja kapasiteetin tasapainotilanteessa. (Slack et al., 2010:300) Yksinkertaisin tapa arvioida tarvittavaa lisäkapasiteettia on verrata pitkän aikavälin kapasiteettitarpeita saatavilla olevaan kapasiteettiin (Krajewski ja Ritzman, 2005:256). Mikäli prosessin tuotokset vaihtelevat tai niiden odotetaan muuttuvan, lisäkapasiteetti ilmoitetaan prosessin panoksina eikä tuotoksina (Krajewski ja Ritzman, 2005:257).



Kuva 3 Kapasiteettijoustavuuden tarvitsema kapasiteetin mitoitus.

Kapasiteettijoustavuus voi olla sanallinen kuvaus, millä tavoin tarvittava kapasiteetti voidaan tuottaa eri tilanteissa. Kapasiteettijoustavuus voi myös olla esimerkiksi kokonaistuloksen tuottamiseen kulunut aika. (Bowersox et al., 2007:41)

### 2.1.2.3 Läpivirtaus

Läpivirtaus tarkoittaa kuljetettavaa kokonaismäärää. Kuljetusten käsittelynopeus asettaa tavoitteen tarvittavalle kapasiteetille. Saatavilla olevan kapasiteetin ero tarvittavaan kapasiteettiin on ratkaistava operatiivinen ongelma (Vollmann et al., 2004).

Läpivirtaus on merkittävä operatiivisen toiminnan kuvaaja. Keskittyminen läpivirtaukseen korostaa toiminnan rajoitteiden hallintaa. Operatiiviset ongelmat voivat aiheutua useista eri rajoitteista. Tavallisimpia ovat prosessien ja henkilöstön saatavuuden ongelmat, tuotannon raaka-aineiden tai toimitusten ongelmat, sekä ongelmat käytetyissä menetelmissä, työskentelyn tehokkuudessa tai osaamisessa ja koulutuksessa. (Heizer ja Render, 2006:606)

Käytettävissä oleva kapasiteetti heikkenee, mikäli prosessien toteutumiseen tarvittava aika muuttuu jatkuvasti tai mikäli kuormituksen määrä ja ajoitus vaihtelevat (Slack et al., 2010:105). Prosessin jatkuvat muutokset vähentävät prosessin tehokasta kapasiteettia, kasvattavat läpivirtausaikoja ja vähentävät käyttöastetta. Pitkät läpimenoajat kerryttävät varastoja. Tämä aiheuttaa edelleen lisäkapasiteettitarpeita, koska saatavilla oleva kapasiteetti on sitoutunut prosessiin. Jatkuvasti muuntuvat prosessit edellyttävät suurempia kapasiteetti-investointeja. (Slack et al., 2010:325)

### 2.1.2.4 Pullonkaulat

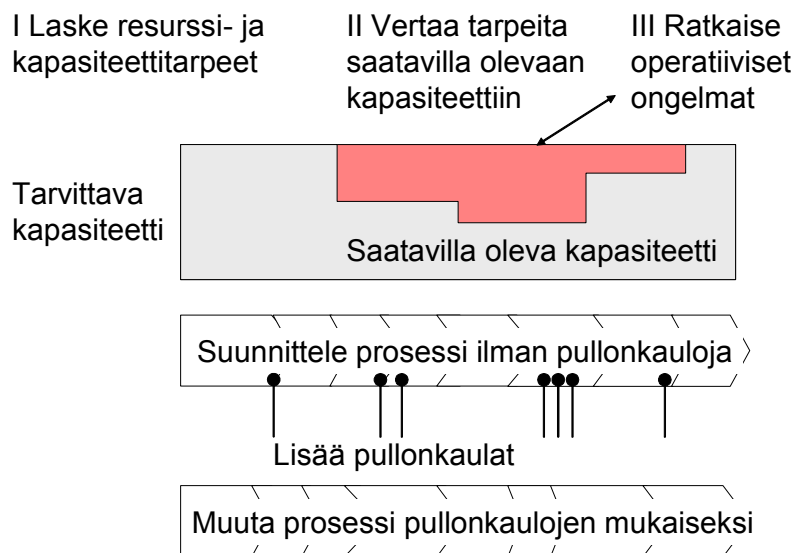
Toimitusverkoston kaikkien osien kapasiteetti tulee mitoittaa samalle tasolle (Slack et al., 2010:155). Prosessin kapasiteettia rajoittavat ne osat, joiden kapasiteettikatto on saavutettu (Slack et al., 2010:299). Mikäli mitoitusta ei ole arvioitu koko verkoston laajuisesti, verkoston kapasiteetti määräytyy kapasiteettirajoitteita sisältävien verkoston osien perusteella. Myös ylikapasiteetti on mitoitusvirhe, koska se aiheuttaa kapasiteetin alhaisen käyttötason. (Slack et al., 2010:155)

Pullonkauloja muodostuu toistuvasti, koska prosessit toistuvat harvoin täysin samanlaisina. Samasta syystä pullonkaulat voivat vaihtua ja olla

erilaisia eri tilanteissa. Esimerkiksi volyymin muutos voi aikaansaada useita ja vaihtuvia pullonkauloja. (Heizer ja Render, 2006:606)

Teoria kapasiteettirajoitteista (Theory of Constraints, TOC) perustuu yli 30 vuotta sitten julkaistuun Eliyahu Goldratt teokseen The Goal. Teorian mukaan pullonkaulat määrittävät tarkasteltavan kohteen kokonaiskapasiteetin. Kapasiteetin lisäys muualla kuin pullonkauloissa vain lisää keskeneräistä tuotantoa. (Vollmann et al., 2004:355)

Rajoitteiden ohjaaman suunnittelun pääperiaatteena on pullonkauloja muodostavien tehtävien tai resurssien ohjaus tarkalla tasolla. Tavoitteena on läpivirtauksen maksimointi. (Vollmann et al., 2004:379) Pullonkaulojen käyttöaste pyritään pitämään maksimaalisena (Krajewski ja Ritzman, 2005:249). Pullonkaulojen suunnitteluun on varattava kapasiteetin ylimäärää, mikäli kokonaisjärjestelmän tahdotaan säilyttävän joustavuutensa. Jos kapasiteettitarve on yhtä suuri kuin saatavilla oleva kapasiteetti, järjestelmässä ei ole jäljellä joustavuutta kapasiteetin suhteen. (Vollmann et al., 2004:359) Rajoitteiden ohjaaman suunnittelun vaiheita on selvennetty kuvassa 4.



*Kuva 4 Rajoitteiden ohjaama kapasiteetin suunnittelu*

Rajoitteet on määriteltävä ja poistettava vaiheittain (Stevenson, 2005:201). Pullonkauloista aiheutuvia ongelmia poistetaan erilaisilla keinoilla (Heizer ja Render, 2006:606). Investoinnit olivat pitkävaikutteisia toimenpiteitä pullonkaulojen poistamiseksi. Lyhytvaikutteiset toimenpiteet ovat työvuorojen lisäämistä, lisätyövoiman palkkaamista ja prosessien muuttamista. (Krajewski ja Ritzman, 2005:248) Muita keinoja kapasiteetin lisäämiseen ovat käsittelyajan muuttaminen, koneiden lukumäärän lisääminen ja työskentelytapojen muuttaminen. Kapasiteettitarpeita taas voidaan vähentää muuttamalla reittejä, käyttämällä alihankintaa tai aikatauluttamalla uudelleen (Vollmann et al., 2004:359) Lisäksi järjestelmän läpivirtaus voidaan sovittaa vastaamaan pullonkaulan kapasiteettia (Heizer ja Render, 2006:606).

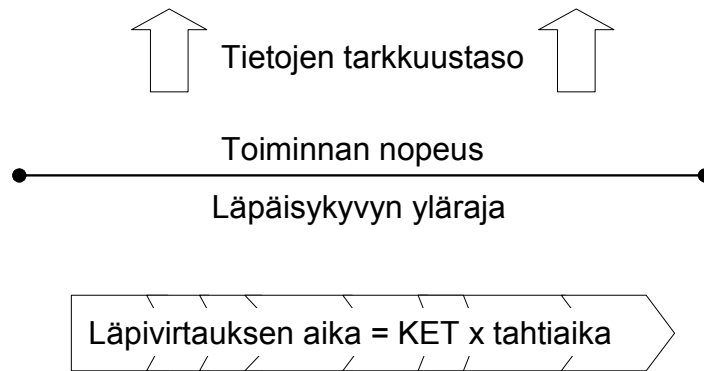
Yleisin tapa arvioida keinoja lisäkapasiteetin tuottamiseen on verrata aggregoituja tarvelaskelmia tuotettuihin suunnitelmiin. Suunnitelmissa muutellaan varastoinnin, työvoiman, tuotannon tasojen tai alihankinnan tarvetta. (Heizer ja Render, 2006:520) Lisäksi voidaan arvioida, toistuvatko tuotantojaksot identtisinä ja pidetäänkö kapasiteetti tasaisena, vai voidaanko kapasiteettia sovittaa tarpeen mukaan (Heizer ja Render, 2006:523). Kuljetusyrityksille on tyypillistä jälkimmäinen vaihtoehto, jossa tavoitteena on kysynnän vaihtelun ja kapasiteettitarpeiden tasaaminen (Heizer ja Render, 2006:531).

### 2.1.3 Mittaaminen ja mittarit

Toimitusketjun mittaaminen ja arviointi perustuu prosessien mallintamiseen ja toiminnan tehokkuuden mittaamiseen (Stadtler ja Kilger, 2005:37–38). Avainmittareita käytetään tyypillisesti prosessien valvontaan ja ohjaamiseen, päätöksenteon tukena ja tavoitteiden toteutumisen vertailuihin (Stadtler ja Kilger, 2005:49). Mittarit tuottavat tietoa esimerkiksi prosessien heikkouksista ja pullonkaulakapasiteettien tarvitsemista kapasiteettilisäyksistä (Stadtler ja Kilger, 2005:18–19).

Mittarit liitetään toimitusketjun ylätasen tavoitteisiin (Stadtler ja Kilger, 2005:50). Toimitusketjun toimivuudelle asetetaan useita tavoitteita. Näitä

ovat esimerkiksi nopeus, riippuvuuksien hallinta ja joustavuus (Slack et al., 2010:376). Erilaisia kapasiteetin mallintamiseen liittyviä tavoitteita on koottu kuvaan 5. Operaatioiden suorituskyyvylle voidaan edellisten lisäksi asettaa tavoitteeksi suunniteltujen tehtävien toistettavuus suunnitelmien mukaisesti ja toipuminen häiriöistä (Bowersox et al., 2007:51).



Kapasiteetin käyttöaste

= todellinen tuotos / suunniteltu kapasiteetti

= keskimääräinen tuotos / maksimikapasiteetti

*Kuva 5 Kapasiteetin mallintamisen tarvitsemia määrittelyjä*

#### 2.1.3.1 Toiminnan nopeus ja tietojen tarkkuus

Toiminnan nopeutta mitataan aikana, joka kuluu mitattavan tapahtuman alusta loppuun asti (Bowersox et al., 2007:51). Nopeus voi myös tarkoittaa aikaa, joka kuluu toimitusketjun läpi kulkemiseen (Slack et al., 2010:376).

Tietoja käsitellään suurempina kokonaisuuksina ja hyvin pelkistetyssä muodossa, kun suunnittelun aikajänne on pitkä (Stadtler ja Kilger, 2005:166). Yksinkertaistaminen vähentää keskipitkän aikavälin suunnittelun epävarmuuksia (Stadtler ja Kilger, 2005:159). Erityisesti kapasiteettitarpeiden arviointi edellyttää tietojen kokoamista suuremmiksi kokonaisuuksiksi eli samantyyppistä kapasiteettia käyttäviksi yksiköiksi. (Stadtler ja Kilger, 2005:170) Joissain tilanteissa päätöksentekoprosesseja ei voida mallintaa ja päätöksentekoa tukevia tietoja ei voida mitata. Esimerkiksi vaihtoehtoisten kuljetusmuotojen käyttö, pullonkaulojen kapasiteettivaraukset ja kuljetettavien määrien

analysointi sekä samanaikainen lisäkapasiteettitarpeiden arviointi ja kapasiteetin tasaaminen voi olla mahdotonta mitata koko toimitusketjun laajuisesti. (Stadtler ja Kilger, 2005:169)

#### 2.1.3.2 Tuotokset ja tehokkuus

Kapasiteetilla tarkoitetaan usein fyysisten tuotteiden tai palveluiden läpäisykyvyn ylärajaa (Stevenson, 2005:187). Kapasiteettia mitataan prosessin tuotoksina, mikäli volyymi on suuri ja prosessi tuottaa samanlaisia tuotteita tai palveluja (Krajewski ja Ritzman, 2005:246). Tuotoksesta erotetaan kolme eri tasoa. Suunniteltu kapasiteetti ei pidä sisällään päivittäisessä toiminnassa esiintyvää normaalia hävikkiä. Suunniteltu kapasiteetti on suurempi kuin tehokas kapasiteetti tai todellisena tuotoksena oleva kapasiteetti. Tehokas kapasiteetti tarkoittaa tuotoksena olevaa kapasiteettia, jos siinä esiintyy vain suunniteltu hävikki. (Stevenson, 2005:188) Todellinen kapasiteetti on mitattu kapasiteetti.

Kapasiteetin käyttöaste (%) tarkoittaa todellista tuotosta verrattuna suunniteltuun kapasiteettiin (Heizer ja Render, 2006:287). Käyttöaste voi myös ilmaista keskimääräistä tuotosta jaettuna maksimikapasiteetilla. Maksimikapasiteetti voidaan määritellä tuloksena, jota todellisuudessa voidaan ylläpitää pidemmän aikaa. Maksimikapasiteetilla ei tässä tapauksessa tarkoiteta hetkellistä huippuarvoa, joka saavutetaan poikkeuksellisilla työajoilla tai esimerkiksi alihankinnalla. (Krajewski ja Ritzman, 2005:246)

Tehokkuutta mitataan todellisena tuotoksena jaettuna tehokkaalla kapasiteetilla (Heizer ja Render, 2006:287). Tehokkaaseen kapasiteettiin vaikuttaa useita tekijöitä. Muutamia esimerkkejä ovat toimitilojen pohjaratkaisut ja kulkureitit sekä etäisyydet ja sijainti, tuotettavat palvelut, toteutettavan prosessin kapasiteettimäärät, riittävä koulutus ja osaaminen sekä motivaatio, päivittäisen toiminnan häiriöiden hallinta ja työvoiman sekä työtuntien joustava käyttö, viipeet ja ongelmat tehtävien ajoituksessa, toimitusketjun yleinen toimivuus ja esimerkiksi standardit

kuljetusvälineet, ammattiliittojen asettamat rajoitteet ja erilaiset turvamääräykset. Erityisesti tuotteiden ja tuotettavien palvelujen samankaltaisuudella on merkittävä vaikutus kapasiteettiin. (Stevenson, 2005:190)

Tehokkuutta voidaan myös mitata toisin. Yhteen tehtävään kuluva aika on sen lopetus aika – aika, jolloin työ oli valmiina ensimmäistä työvaihetta varten. Suoritus aika on viimeisen työn lopetusajan ja ensimmäisen työn aloitusajan välinen aika. Keskimääräinen keskeneräinen tuotanto on kaikkiin tehtäviin kulunut aika jaettuna suoritusajalla. Käyttöaste on tuottava työaika jaettuna saatavilla olevalla kokonaistyöajalla. (Krajewski ja Ritzman, 2005:794)

#### 2.1.3.3 Läpivirtausaika

Läpivirtausaika tarkoittaa seurattavien kohteiden käyttämää aikaa, joka kuluu prosessin läpäisyyn. Läpivirtausaika saadaan kertomalla keskeneräinen tuotanto prosessin tahtiajalla. Tätä vakaille prosesseille käytettyä laskentatapaa kutsutaan nimellä Littlen laki. (Slack et al., 2010:101, 103)

$$\text{Läpivirtausaika} = \text{keskeneräinen tuotanto (KET)} \times \text{tahtiaika} \quad (1)$$

Keskeneräinen tuotanto (engl. work-in-process) tarkoittaa tuotannossa keskimäärin olevaa yksikkömäärää. Tahtiaika tarkoittaa keskimääräistä aikaa, jonka kuluttua aina uusi yksikkö valmistuu prosessista. Jos prosessia seurataan vain yhdeltä tuotantokoneelta ja koko tuotanto kulkee yhden tuotantokoneen läpi, tahtiaika on tuotantokoneen tahtiaika. Jos tuotantokoneita on useita, yhden yksikön valmistumiseen mitattu aika jaetaan koneiden lukumäärällä, mikäli koko tuotanto kulkee tasaisesti kaikkien tuotantokoneiden läpi. (Slack et al., 2010:101, 103)

Prosessin läpivirtauksen tehokkuus saadaan jakamalla tehokas työskentelyaika läpivirtausajalla (Slack et al., 2010:101, 103). Läpivirtauksen tehokkuus ilmoitetaan prosentteina. Läpivirtauksen parantaminen tarkoittaa prosessin läpivirtauksen tehokkuuden

parantamista. Palveluprosesseissa läpivirtauksen tehokkuus voi olla jopa kymmeniä prosentteja. Materiaalin ja tiedon käsittely toimitusketjuissa on usein tehotonta ja läpivirtauksen tehokkuus on vain muutamia prosentteja. (Slack et al., 2010:101, 103)

#### 2.1.4 Viipeet

Palvelutuotannon kapasiteetin kysynnässä voi olla suuria vaihteluita sekä ajoituksen että kokonaismäärän suhteen (Stevenson, 2005:194). Jokaisella osajärjestelmällä voi olla yksi tai useampia vaiheita, joissa jonoja muodostuu (Stevenson, 2005:832). Jonoja muodostuu palvelutarpeen hetkittäisesti ylittäessä palvelutuotannon (Stevenson, 2005:830). Odotusajat kasvavat ja jonoja muodostuu todennäköisimmin silloin, kun saapumisia on tiheästi tai palveluajat pitenevät. Mikäli kumpikin toteutuu samanaikaisesti, jonoja muodostuu erittäin todennäköisesti. (Stevenson, 2005:834)

Jonoja muodostavissa järjestelmissä on ratkaistava tasapaino kapasiteetti-investointien ja alhaisten käyttöasteiden välillä. Näihin viitataan usein epätasapainona odotusajan ja järjestelmän käyttöasteen välillä. Mikäli järjestelmään muodostuu jonoja kapasiteettivajeen takia, kapasiteettilisäysten on perustuttava sekä jonotusaikojen että käyttöasteen laskentaan. (Slack et al., 2010:325)

Osa jonoteorian suunnitteluperiaatteista sopii tutkittavaan satamaan. Palvelua odottavia jonoja esiintyy laivojen odottaessa pääsyä satamaan ja ajoneuvojen odottaessa purkamista (Stevenson, 2005:830). Palveluja tuottavan osajärjestelmän kapasiteetti todetaan nykytilan analyysissä määräytyvän usean tekijän yhteisvaikutuksesta. Näitä ovat samanaikaisesti purettavat alukset, alusten tekninen taso, satamainfrastruktuurin koko, satamaoperaattorin prosessit ja käytetyt koneet ja laitteet. Jonotusajat ovat mallinnettavan kohteen kapasiteetin käytölle tyypillinen piirre.



Jonoteorian laskentamenetelmät sisältävät kuitenkin olettamuksia, jotka eivät sovellu mallinnettavaan kohteeseen. Jonoteorian laskelmissa oletetaan, että kerätty data käyttäytyy jonoteorian sääntöjen mukaisesti (Stevenson, 2005:835). Tässä tutkimuksessa ei sovelleta jonoteorian laskentamenetelmiä. Jonojen muodostumisesta aiheutuvia viipeitä olisi syytä tarkastella jatkotutkimuksessa. Viipeitä esiintyy tässä tutkimuksessa mallinnetun prosessin kaikissa vaiheissa ja viipeillä voi olla suuri vaikutus sataman todelliseen läpivirtaukseen.

## **2.2 Intermodaalikuljetukset**

### **2.2.1 Intermodaalikuljetuksen määritelmät**

Intermodaalikuljetusten määritelmät ovat 1990-luvun alussa olleet laajoja, mutta muuttuneet hyvinkin tarkkarajaisiksi kahden edellisen vuosikymmenen aikana. Kuljetuksissa erotettiin toisaalta sisämaan rautatie-rekkakuljetukset, toisaalta valtameren ylittävät kuljetukset. Vielä 1990-luvun lopussa intermodaalikuljetuksen määritelmässä korostuivat fyysiset kuljetusvälineet. Multimodaali, intermodaali ja yhdistetty kuljetus olivat termejä, joita käytettiin Euroopan ja Amerikan mantereella eri tarkoituksissa. Bontekoning et al. (2003) toteaa intermodaalin tavarakuljetusten tutkimuksen olevan nuorta ja epäyhtenäisen termistön olevan tyypillistä vasta alkuvaiheessa olevalle tutkimukselle. Uusimmat intermodaalikuljetuksen määritelmät ovat vähemmän tarkkarajaisia ja aiemmin ulkopuolelle jätetty lähimerenkulku sisällytetään nykyään määritelmään.

Woxenius ja Lumsden (1994) esittelivät tutkimuksessaan vuonna 1993 tehtyä määrittelyä, jossa termejä intermodaali, multimodaali ja yhdistetty kuljetus käytettiin yleisesti tarkoittamaan henkilöitä ja tavaroita useammassa kuin yhdessä kuljetusmuodossa liikuttavista järjestelmistä. Termillä intermodaali korostettiin kuljetusmuodon vaihtumisen hallintaa kuljetusketjun solmukohdassa. Termiä multimodaali käytettiin, kun tavoitteena oli korostaa usean eri kuljetusmuodon yhdistelmää, ei

niinkään vaihtoa yksittäisten kuljetusmuotojen välillä. Termillä yhdistetty kuljetus tarkoitettiin sekä eri kuljetusmuotojen yhdistelmiä että vaihtoja kuljetusmuotojen välillä. (Walton, 1993)

Woxenius ja Lumsden (1994) toteavat Yhdysvalloissa käytetyn termin intermodaali olevan synonyymi Euroopassa käytetylle termille yhdistetty kuljetus, joka kattoi pääasiassa maantie- ja rautatiekuljetusten yhdistelmän. Termiä intermodaali kuljetus käytettiin tutkimuksessa tarkoittamaan maantie- ja rautatiekuljetuksen yhdistelmää, jossa tarkastelukohteena oli vaihto kuljetusmuotojen välillä. Laajemmasta meri-, maantie- ja rautatiekuljetuksen yhdistelmästä tutkimuksessa käytettiin termiä multimodaali kuljetus. Euroopan Unionin käyttämästä termistä intermodaali todetaan, että termiin ei sisälly Kanaalin tai Itämeren ylittävä lähimerenkulku ja tästä syystä suositellaan lähimerenkulun sisältävissä kuljetusketjuissa käytettäväksi termiä multimodaali. (Woxenius ja Lumsden, 1994)

European Conference of Ministers of Transport 1993 totesi intermodaalin tavarakuljetuksen termiä käytettävän kuvaamaan yhdessä ja samassa kuljetusyksikössä kuljetettavaa tavaraa käyttäen eri kuljetusmuotoja kuten maantie-, rautatie- ja vesikuljetuksia ilman kuljetettavien tavaroiden käsittelyä kuljetusyksikön vaihtaessa kuljetusmuodosta toiseen. Euroopan komissio (2001) tarkensi intermodaalikuljetuksen määritelmäksi ”tavarankuljetus yhdessä ja samassa kuljetusyksikössä tai ajoneuvossa käyttäen kahta tai useampaa kuljetusmuotoa siten, että kuljetettavaa tavaraa ei käsitellä kuljetusmuodon vaihtuessa” (OECD, 2001).

Crainic (2003) on todennut intermodaalikuljetusten olevan joko ovelta-ovelle-kuljetuksia tai yhdistettyjä kuljetuksia. Loppuasiakkaan kannalta intermodaalikuljetus on määrättylle asiakkaalle osoitetut ovelta-ovelle-kuljetus. Varustamon kannalta intermodaalikuljetus on konsolidoitu kuljetus, jossa loppuasiakkaiden kuljetusyksiköt tuodaan satamaan käyttäen eri kuljetusmuotoja. Kuljetusyksiköt lastataan, lastilaivaliikenne kulkee tarkasti aikataulutettuna määrättyillä reiteillä. Määräsatamassa

lasti puretaan ja kuljetetaan perille loppuasiakkaalle käyttäen eri kuljetusmuotoja. Kuljetusyksikössä voi myös olla useiden eri loppuasiakkaiden rahtia. (Crainic, 2003:454)

Bontekoning et al. (2004) totesi pelkästään fyysistä kuljettamista korostavista intermodaalikuljetusten määritelmistä puuttuvan tyypilliset kuljettamiseen liittyvät osatekijät. Määritelmiin tulisi myös sisältyä synkronoidut reititykset, eri kuljetusmuotojen välinen tehtävänjako ja kuljetusketjuun osallistuvien samanaikaisten toimijoiden hallinta. Intermodaalikuljetuksen pääosan esitettiin toteutuvan rautateitse. Alku- ja loppuosan lyhyet kuljetusmatkat tuotetaan maantiekuljetuksina. Eri kuljetusmuotojen välille esitettiin aikataulujen synkronointia ja tarkkaa tehtävänjakoa, jotta aikataulutettu vaihto kuljetusmuotojen välillä pystytään toteuttamaan. (Bontekoning et al., 2004)

Crainic ja Kim (2007) toteavat laajalti käytetyn ja hyväksytyn intermodaalin rahtikuljetuksen määritelmän rajautuvan multimodaaliin konttien kuljetusketjuun. Kuljetusketju alkaa tavarán valmistajasta ja päättyy kuljetusyksikön vientiin loppuasiakkaalle ovelta-ovelle-kuljetuksena. Intermodaalin rahtikuljetuksen kuljetusmatka on pitkä ja kuljetusketjuun osallistuu useita kuljetusyrityksiä. Intermodaali kuljetus todetaan voitavan määritellä henkilöiden ja tavarán kuljetuksena lähtöpaikasta päätepisteeseen vähintään kahdella eri kuljetusmuodolla siten, että kuljetusmuodosta toiseen vaihto tapahtuu intermodaaliterминаalissa. Siten intermodaalia rahtikuljetusta laajempi termi intermodaali kuljetus voi tarkoittaa esimerkiksi maantie-, rautatie- ja valtamerikuljetusten erilaisina yhdistelminä kuljetettavia kuljetusyksiköitä kuten kontteja. Suuret kontti- ja perävaunukuljetukset määritellään kuljetettavan Euroopan Unionin määritelmää mukaillen rautateitse. (Crainic ja Kim, 2007)

Macharis ja Bontekoning (2004) toteavat intermodaalin rahtikuljetuksen tarkoittavan vähintään kahden eri kuljetusmuodon käyttämistä yhdessä kuljetusketjussa siten, että kuljetusväline ei vaihdu kuljetuksessa, jossa pääosaan kuljetusmatkaa käytetään rautatietä, sisämaan vesiyhteyksiä

tai valtamerialuksia ja kuljetusmatkan alussa ja lopussa esiintyviin lyhyisiin kuljetusmatkoihin käytetään maantiekuljetusta. Tähän määritelmään eivät vieläkaan sisälly Euroopan sisämeriyhteydet.

Intermodaalikuljetuksen hyvin yleinen määritelmä sisällyttää kuljetusmuodoiksi kaikki pintakuljetukset pois lukien ilmakuljetukset ja kuljetusvälineeksi myös perävaunut. Määritelmässä intermodaalikuljetuksen lastit siirretään lähtöterminaaliin maantie- tai rautatiekuljetuksena. Terminaalien väliset pitkät kuljetusmatkat voivat olla merikuljetuksia, maantie- tai rautatiekuljetuksia. Merikuljetus vaihtuu takaisin maantie- tai rautatiekuljetukseksi intermodaalikuljetuksen solmukohdassa eli satamassa. Kuljetusvälineet voivat olla esimerkiksi kontteja tai perävaunuja. (Jaržemskienė, 2007 )

Kansalliset julkaisut kuvaavat intermodaalin rahtikuljetuksen osia painottaen kansallisia ja lähialueelle tyypillisiä piirteitä. Esimerkiksi Euroopan mantereella ja Isossa Britanniassa korostuvat konttien sisävesikuljetukset, rautatiekuljetukset ja maantiekuljetukset. Lähimerenkulkua kuvataan hyvin lyhyesti. (Lowe, 2005) Suomessa yleisesti käytetyt puoliperävaunujen kuljetukset ja roro-alusten rakenteet saatetaan jättää julkaisuissa kuvaamatta.

Suomalainen lähimerenkulun ja intermodaalikuljetusten edistämisen keskus (Shortsea Promotion Centre Finland, SPC Finland) on osa kansainvälistä lähimerenkulun järjestöä European Shortsea Network. Intermodaalikuljetukset yhdistävät vähintään kaksi kuljetusmuotoa, joita ovat lähimerenkulku, rautatie-, maantie- ja sisävesikuljetukset. SPC Finland kokoaa ja jakelee tietoa intermodaaleista kuljetuspalveluista kuten säännöllisen linjaliikenteen yhteyksistä eurooppalaisiin satamiin. Suomalaiset julkaisut nostavat siis lähimerenkulun muiden intermodaalikuljetusten käyttämien kuljetusmuotojen rinnalle.

Euroopan lähimerenkulussa käytettävien intermodaalikuljetusten suurin liikennemäärä on Ruotsin, Viron, Saksan, Benelux-maiden ja Iso-Britanniaan merilinjoilla. Intermodaalikuljetukselle on tyypillistä, että

kuljetusmuoto vaihtuu vähintään kerran, mutta kuljetusväline pysyy muuttumattomana koko kuljetuksen ajan. Kontit, perävaunut ja kuorma-autot ovat tyypillisiä intermodaalikuljetuksessa käytettäviä kuljetusvälineitä. (Rytönen ja Ulmanen, 2009)

Tässä tutkimuksessa intermodaalikuljetuksesta käytetään Euroopan Komission 2001 hyväksymää määritelmää ”tavarankuljetus yhessä ja samassa kuljetusyksikössä tai ajoneuvossa käyttäen kahta tai useampaa kuljetusmuotoa siten, että kuljetettavaa tavaraa ei käsitellä kuljetusmuodon vaihtuessa”. Määritelmä korostaa integroidulla kuljetusketjulla toteutettavaa ovelta-ovelle-kuljetusta. (OECD, 2001) Määritelmä ei rajaa ulkopuolelle sisämerenkulkua. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää Crainicin (2003) määritelmää. Tosin tässä tutkimuksessa keskitytään satamaoperaattoriin, ei varustamon yhdistettyihin kuljetuksiin eikä kuljetusyritysten ovelta-ovelle-kuljetuksiin.

### 2.2.2 Aiempi tutkimus

Intermodaalikuljetusten tutkimukset keskittyivät konttiliikenteeseen ja terminaalisiin (Woxenius ja Bergqvist, 2007). Verkoston rakenne määräytyy kuljetusten kysynnän ja eri kuljetusmuotojen tarjonnan mukaisesti (Crainic, 2003). Verkostolla tuotettavat kuljetuspalvelut integroivat lastit, alukset, reitit ja aikataulut yhdeksi laajaksi kokonaisuudeksi (Heizer ja Render, 2006:597). Linkitykseen käytetään eri menetelmiä (engl. assignment method), jotka liittävät kuljetustehtävät ja käytettävissä olevan kapasiteetin toisiinsa (Ahuja et al., 1993). Käytetyt menetelmät perustuvat usein koko kuljetusverkoston optimointiin ja tuottavat esimerkiksi alusten frekvenssit ja reitit (Christiansen et al., 2007). Tutkimuksissa keskitytään aluskapasiteetin ja sataman käsittelykapasiteetin eli alusten purkaukseen käytettyjen koneiden ja laitteiden sekä varastokenttien kapasiteetin hallintaan. Tutkimuksissa käsitellään myös purettujen yksiköiden noutoa satamasta maakuljetuksina.

Intermodaalikuljetusten tutkimuksista löytyi hyvin vähän mainintoja terminaalien resurssien mitoittamisen ongelmista, kun kuljetusmuotona on roro-merikuljetus ja kuljetusvälineenä puoliperävaunu. Syyksi arveltiin, että kuljetuksesta jää hyvin vähän voittoa satamille. (Woxenius ja Bergqvist, 2007) Erityisesti pienet ja keskisuuret yritykset, satamaoperaattorit ja huolitsijat käyttävät puoliperävaunujen intermodaalikuljetuksia, mutta yrityksillä ei kokonsa takia ole kykyä rahoittaa laajoja tutkimuksia (Jaržemskienė, 2007).

Yhdysvaltalaisen tutkimusorganisaation "The transportation research board" raportti "Transportation research record no. 1873" sisältää tutkimuksen Klodzinski, Jack. Al-Deek, Haitham M. Methodology for modeling a road network with high truck volumes generated by vessel freight activity from an intermodal facility. Tutkimuksen lähtöasetelmana on tieverkoston kuormittaminen roro-kuljetuksesta purkautuvilla kuorma-autoilla, täys- ja puoliperävaunuilla. Tutkimuksessa pääpaino on tieverkoston kuormituksen analysoinnissa ja satama-alueen kuormitus sivuutetaan. Tutkimuksen lähtötiedoille asetettiin suuret laatuvaatimukset, jotta tuotetut volyymitiedot vastasivat todellisuutta mahdollisimman tarkalla tasolla. Lähtötiedot tuotettiin volyymigeneraattorilla (engl. truck trip generation model). Käytetty mekanismi (engl. assignment engine) otti volyymigeneraattorin tuottamat suunnitelmat ja liitti ne tieverkoston rakenteeseen ja kuljetusten reittisuunnitelmiin. Matriisia testattiin simulointiohjelmilla, jotka kuormittivat tieverkostoa matriisien mukaisesti. Tutkimuksessa keskityttiin tieverkoston pullonkaulojen hallintaan. (Klodzinski et al., 2004)

Merkittävä osa linjaliikenteen tutkimusraporteista käsittelee konttiterminalleja ja konttisatamia. Liikenneverkoston suunnittelu perustuu terminaalikeskeisiin rakenteisiin. (Caris et al., 2008)

### 2.2.3 Sataman yleiskuvaus

Ulkomaankaupan tuonti- ja vientikuljetukset ovat eriytyneet eri kuljetettavaksi satamiin ja eri kalustolle (Sundberg, 2009). Satama tai sen

terminaalitoiminnot voivat erikoistua tiettyihin tavaralajeihin tai kuljetusyksiköihin kuten roro-liikenteessä on toteutunut (Pöllänen et al., 2005). Esimerkiksi Rauman satamassa on useita eriytyneitä satamanosia. Suurimpia satamanosia ovat konttiterminaalialue ja roro-storo –satamanosa. Muita satamanosia ovat kuivien irtolastien, nesteliikenteen terminaalien ja lolo-liikenteen (lift on lift off) satamanosa. (Rauman satama, 2010)

Ulkomaankaupan tuonnin kuljetusketjun osapuolia voivat olla UPM tai Kesko (laivaaja), Schenker tai Keslog (maakuljetusyhtiöt), konttikuljetuksissa Maersk (valtamerivarustamo) tai Containerships (paikallisvarustamo), roro-kuljetuksissa Finnlines (paikallisvarustamo) ja esimerkiksi Finnlines-konsernin satamatoimintoja hoitava satamaoperaattori Finnsteve (Rautiainen, 2010). Laivaaja, varustamo ja maakuljetusyhtiöt ovat sataman käyttäjiä (Karhunen et al., 2008:261). Kuljetuspalveluja ostavan asiakkaan tärkeimmät sidosryhmät ovat huolintaliikkeet, ahtaus- ja terminaalitoiminnasta vastaavat satamaoperaattorit ja varustamot (Sundberg, 2009:65). Sataman muita sidosryhmiä ovat itse satamaorganisaatio eli satamanpitäjät ja satamaoperaattorit. Sataman pitäjä vastaa maa-alueista, väylistä ja vesialueista, laitureista ja laiturirakenteista, suljetulla satama-alueella olevista varastoista ja varastoalueista, hallinto- ja huoltorakennuksista sekä suurimmista nostolaitteista ja pääosasta aluspalveluja kuten huolinta, hinaus, luotsaus, laivaselvitys ja muut toiminnot. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2001)

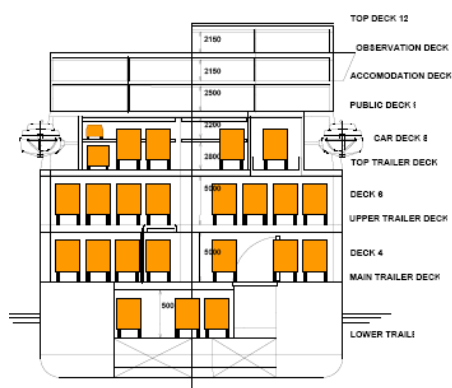
Satamaoperaattorit vastaavat lastiin liittyvistä palveluista, joita ovat lastaus ja purkaminen, lastinkiinnitys, varastointi ja suuryksiköinti (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2001). Suomessa varustamot omistavat tai ovat osakkaina satamaoperaattoriliikkeissä (Pöllänen et al., 2005). Satamaoperaattorit vastaavat strategisista laitteistaan kuten lukeista, kurottajista ja vetomestareista (Finnsteve, 2010c). Terminaalien tehokkuuden kasvu edellyttää joko suurempia tiloja tai tehokkaampia koneita, joustavaa työskentelyä, lyhyempiä varastointiaikoja tai tavarán

käsittelyn vähentämistä satamissa (Liikenne- ja viestintäministeriö, 1999).

#### 2.2.4 Alusten lastinkäsittely

Maantiekuljetuskaluston kuljettamista lähimerenkulun aluksilla pidetään nykyaikaisten kuljetusjärjestelmien kehittymisen merkittävänä saavutuksena. Roro-alukset ovat saaneet nimensä lastaustavasta, jossa lastina kuljetettavat ajoneuvot ajetaan sisään alukseen lastausrampia pitkin, sidotaan kuljetuksen ajaksi ja ajetaan ulos aluksesta määräsatamassa. (Lowe, 2005)

Alusten lastinkuljetuskykyyn vaikuttaa eniten aluksen koko ja kokoon suoraan verrannollinen lastikansien määrä. Sisävesillä käytettävät roro-alukset ovat tyypillisesti 110 metriä pitkiä ja voivat kuljettaa 72 kpl puoliperävaunuyhdistelmiä. Rahtilaivaan on rakennettu satoja matkustajapaikkoja uusissa roro-matkustaja-autolautoissa. Alukset voivat kuljettaa 80 – 120 kpl raskaan liikenteen ajoneuvoja. (Lowe, 2005) Suurimmissa tavarankuljetukseen erikoistuneissa matkustajalaivoissa eli ropax-aluksissa on tyypillisesti neljä lastikantta (Vasama, 2010). Lastikansia on selvennetty kuvassa 6 (Vasama, 2010).



*Kuva 6 Ropax-aluksen neljä lastikantta.*

Aluksen lastinkäsittelykykyyn satamassa vaikuttaa paitsi lastaustapa myös perärampin leveys, aluksen purkaukseen käytetyn maarampin leveys ja aluksen kyky käyttää kaksoisrampin yläramppia. Roro-alukset



lastataan pääasiassa perärampin kautta. Peräramppi sisältää sekä peräportin että -rampin, jota pitkin ajoneuvot ajavat (Estonia loppuraportti, 2000). Ramppi on havainnollistettu kuvassa 7 (Finnlines, 2010a).



*Kuva 7 Finnforest-aluksen peräramppi ja laituri paikan maaramppi.*

Ropax-alus lastataan samanaikaisesti kahdelta tasolta korkeuden suhteen säädettävällä kaksoisrampilla. Kaksoisramppi nopeuttaa alusten purkamista ja lastausta. Mikäli kaksoisramppeja ei ole, lastaus hidastuu, kun alukseen vedetyt lastit siirretään vertikaalisesti kannelta toiselle käyttäen aluksen sisällä olevia ramppeja (Laivan konseptisuunnittelu, 2009). Kaksoisramppeja on havainnollistettu kuvassa 8 (Fluid Finland, 2008).



*Kuva 8 Aluksen täyttäminen kaksoisrampilta*

Kaksoisrampin ylä- ja alaramppi säädetään hydraulisesti. Ylärampin koko on 33 x 35 metriä ja alarampin 20 x 29 metriä. Laivatyyppi, lastin paino ja vedenpinnan vaihtelu vaikuttavat rampin korkeussäätöihin. Rampin korkeutta, kärkiosan nostoa, siirtoa sivusuunnassa ja alarampin asetusta säädetään ja lukitaan oikeaan asentoon hydraulisesti. (Fluid Finland, 2008) Ylärampin ajoväylä on kuvasta katsottuna kapea ja ramppia pitkin voi ajaa vain yhteen suuntaan.

#### 2.2.5 Kuljetettavat lastit

Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus on selvittänyt Suomen ulkomaankaupan merikuljetuksissa eri toimialojen käyttämissä suuryksiköissä kuljetettavia lasteja. Suuryksiköt ovat esimerkiksi kontteja ja puoliperävaunuja. Selvityksen mukaan yksikään viranomainen ei seuraa suuryksikkötyyppikohtaisia toimialojen kuljetuksia tai tavaralajeja. Merenkululaitoksen tilastoista saadaan satamille suuryksikkötyypeittäin kuljetetut kappalemäärät ja kuljetusten painot. Tullin tilastoista saadaan eri kuljetusmuodoilla kuljetetut tavaralajit. Suuryksiköissä kuljetettavien tavaralajien arviointiin on tuotettu menetelmä. (Makkonen et al., 2009) Tässä tutkimuksessa käytetty aineisto on kuitenkin rajattu käsittelemään kuljetusyksiköitä, ei kuljetettavia lasteja.

Pohjoismaiden ja Baltian intermodaaliliikenteessä käytetään paljon kuorma-autoja. Manner-Euroopassa ja Iso-Britanniassa käytetään irtoperävaunuja ja kontteja. (Rytönen ja Ulmanen, 2009) Suomessa käytetään puoliperävaunuja, joskus täysperävaunuja tai muita pyörillä kulkevia yksiköjä (Finnlines, 2010b).

Perävaunu on ilman liikkumiseen vaadittavaa voimansiirtoa rakennettu ajoneuvo. Suomessa yleisimmin käytetty perävaunutyyppejä on varsinainen perävaunu, mutta perävaunutyyppejä nimeltä puoliperävaunu on yleinen maan välisessä liikenteessä. Puoliperävaunu on yleensä standardimittainen, joten sen kuljettamisesta vastaa usein muu kuin puoliperävaunun omistava yritys. Puoliperävaunua kutsutaan irtoperäksi. (Kuorma-autojen yhdistelmätyypit Euroopassa, 2010) Laivojen

tuontikuormat saapuvat suurelta osin irtoperävaunuina (LVM, 2005:15). Puoliperävaunun voidaan olettaa vastaavan kahta TEU-yksikköä (Twenty Foot Equivalent Units) konttikuljetuksissa. Puoliperävaunun kuutiomäärät ovat kaksinkertaiset, mutta tilaa ei lastata täyteen. Samat painorajoitukset koskevat puoliperävaunua ja konttikuljetusten alustalla kuljetettavaa kahden TEU-yksikön konttia. (Woxenius ja Bergqvist, 2007)

Yleisimmät omalla vetoautolla kulkevat kuorma-autot ovat 12 m pitkät nuppiautot tai 16,5 m pitkät puoliperävaunuyhdistelmät (Juhala, 2007). Eri kuljetusyksikköjen sitomisen tilantarvetta ei ole ilmoitettu julkaistuissa oppaissa ilman vetoauton pituutta. Tästä syystä eri kuljetusyksikköjen sitomiseen käytetyt kaistametrit on hankittu satamaoperaattorilta. Tiedot perustuvat satamaoperaattorin mittauksiin ja ne on kerrottu suullisesti. Tiedot on koottu taulukkoon 1.

*Taulukko 1 Kuljetusvälineiden sitomisen tilantarve aluksessa*

	Kuorma-autot	Puoliperävaunut	Lauttavaunut	Kasetit	Tyhjät lautta-vaunupinot	Autot	Konttipinot 'a 3 konttia
Pituus m	16,5	13,6	12,0	12,0	12,0	6,0	9,0
Sidonta m	0,5	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Yht. m	17,0	14,7	12,5	12,5	12,5	6,5	9,5

Kuorma-autojen kuljettamisen tilantarve on suurin. Mikäli kuljetusyksiköt voidaan kuljettaa puoliperävaunuina, yhdellä aluskäynnillä voidaan kuljettaa enemmän kuormaa. Kuorma-autoja voidaan kuljettaa vain ropax-laivoilla, joissa on tilat kuljettajien kuljettamiseen lastien mukana. Roro-laivoilla kuljetettaville puoliperävaunuille tulee löytyä kuljettajat vastaanottavasta maasta. Kuljettajat voidaan myös lennättää lastin kulkiessa meritse.

## 2.2.6 Alusten purkaus

Satamaoperaattori vastaa lastinkäsittelystä satamassa yhteistyössä muiden logistiikka-alan yritysten kanssa. Satama-alueella tapahtuvaa ahtaustyötä tekevät rekisteröidyt satamatyöntekijät. Muita lastinkäsittelyyn liittyviä palveluja ovat varastotoiminta, rahdin järjestely, uudelleenlastaus ja kuljetukset. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2004)

Puoliperävaunuja ja muuta kuljetuskalustoa siirretään vetomestarilla. Suljetulla satama-alueella käytettävä vetomestari on määritelty moottorityökoneeksi ja tarkemmin vetotrukiksi. (L 11.12.2002/1090) Vetomestari on havainnollistettu kuvassa 9 (Finnsteve, 2010c).



*Kuva 9 Satamaoperaattorin vetomestari.*

Täydet puoliperävaunut viipyvät satamissa vain vähän aikaa. Kalleimmat umpikorilliset ja jäähdytetyt puoliperävaunut kiertävät nopeasti tehtävästä toiseen. (Woxenius ja Bergqvist, 2007) Muut puoliperävaunut seisotetaan mieluummin satamassa kuin kuljetetaan meritse tyhjänä takaisin lähtösatamaan (Rautiainen, 2010).

Ulkomaankaupan satama-alueet on yleensä suljettu asiattomalta liikenteeltä ja ajoväylät on tarkasti merkitty (Kuorma-autoliikenteen yleinen satama-asiointiohje, 2006). Sisääntulo- ja ulosmenoväylien päällä

olevat lukulaitteet valvovat liikennettä automatisoidusti. Asiointi on sujuvaa, jos saapumis- ja lähtöajat on ilmoitettu. (Kuorma-autoliikenteen yleinen satama-asiointiohje, 2006) Operaattorin portin rakenne on havainnollistettu kuvassa 10 (Orne, 2008).

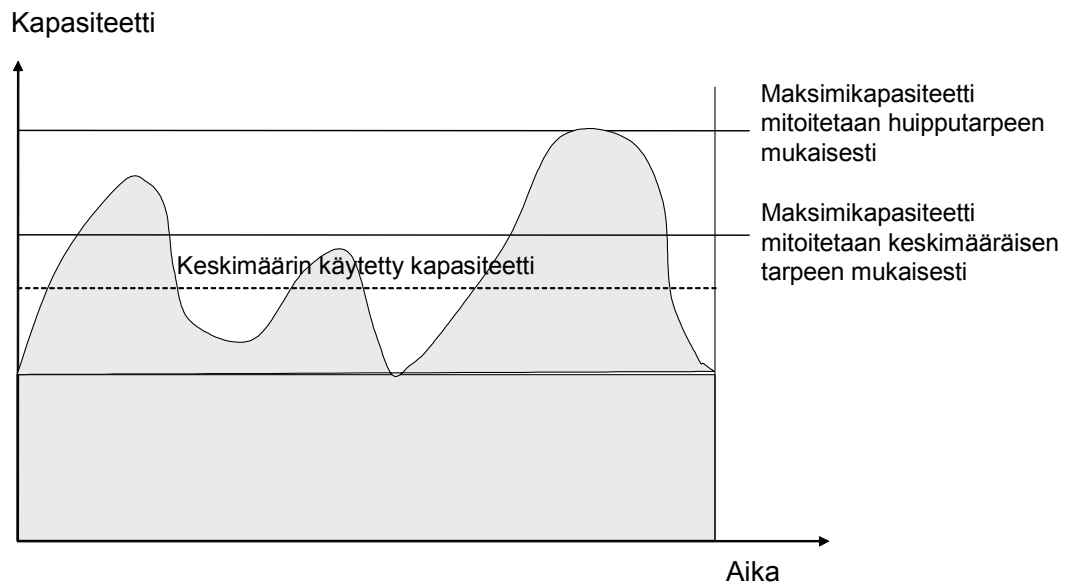


*Kuva 10 Operaattorin portti.*

Monet satamat ovat ottaneet käyttöön 24 tuntia vuorokaudessa avoinna olevan porttipalvelun. Palvelu tasaa liikenteen ruuhkahuippuja ja vähentää käyntikertoja suljetulla satama-alueella. (Finnsteve, 2010c)

## 2.2.7 Lastilaivaliikenteen kapasiteetin suunnittelu

Styhre (2009) on tutkinut rahtiliikenteen operaattoria, joka kuljettaa rahtia roro- ja ropax-aluksilla Itämerellä ja Pohjanmerellä. Tulosten mukaan rahtikuljetusalalla on ollut perinteisesti paljon käyttämätöntä kapasiteettia. Käyttämättömän kapasiteetin määrää verrataan valittuun kapasiteettistrategiaan kuvassa 11. (Styhre, 2009)



*Kuva 11 Vaihtoehtoiset kapasiteettistrategiat roro-kuljetusten kapasiteetin mitoittamisessa.*

Satamanpitäjän ylläpitämän satamainfrastruktuurin ja satamaoperaattorin koneiden ja laitteiden kapasiteetin on vastattava varustamon kapasiteettivaatimuksia. Varustamo asettaa vaatimuksia sataman laitureiden ja satamalaitteiston tekniselle tasolle, ajankäytölle satamassa ja toiminnan tehokkuudelle kuten tonnia tai yksikköä per tunti. Rahtaaja tai laivaaja korostaa sataman säännöllisten linjojen määrää. (Santala, 1989). Laivaajat edellyttävät puoliperävaunujen perille saapumista muutaman tunnin tarkkuudella. Asiakastytyvääisyyttä mitataan usein viipeinä verrattuna suunnitelmiin. (Woxenius ja Bergqvist, 2007)

Reitit eroavat kysynnän vaihtelun ja epätasapainon suhteen. Vuositasolla mitattu kapasiteetti on oltava reittikohtaisesti kannattavaa. Käytetyt vaihtoehtoiset kapasiteettistrategiat ovat kapasiteetin mitoittaminen keskimääräisen tarpeen ja huipputarpeen mukaisesti. (Styhre, 2009).

Kuljetettava tavara, kuljetusmäärät, käsittelytavat, laivayhteydet ja muut sataman logistiset ketjut vakiintuvat tietyllä tasolle. Vakiintumisen jälkeen sataman olemassa olevat toiminnot ohjaavat sataman infrastruktuurin jatkokehittämistä ja operointia (Pöllänen et al., 2005). Varustamo voi

edelleen tehdä käyttöastetta parantavia muutoksia. Taulukkoon 2 on koottu keinoja käyttöasteen parantamiseen. (Styhre, 2009)

*Taulukko 2 Alusten kapasiteetin käyttöasteeseen vaikuttavia tekijöitä ja keinoja käyttöasteen parantamiseen.*

Kohde	Kapasiteetin käyttöasteeseen vaikuttavia tekijöitä	Käyttöastetta parantavia muutoksia
Satama	Infrastruktuurin kapasiteetti Sataman tehokkuus Käyttötunnit satamassa	Lastaus- ja purkamiskaluston parantaminen
Alus	Rahti Aluksen koko	Lastaus ja purkaus Kuljetusyksiköt
Reitti	Aikataulut	Aluskapasiteetti Aluksen aikataulu, frekvenssi

Alusaikataulut rajoittavat sataman palveluaikaa. Perinteisesti eniten aluksia on saapunut ja lähtenyt viikon alussa ja lopussa. Kuormitushuippuja aiheuttavat sesongit ja odottamattomat tapahtumat. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 1998) Satamakapasiteetti eli laituripaikat, varastot ja operaattorin resurssit tulee mitoittaa viikonpäivävaihteluiden mukaisesti. Tämä kapasiteettijousto tarvitaan, jotta toiminta ei ruuhkaudu, läpimenoajat pitene ja alusten kierto hidastu. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 1998)

Sataman kokonaistehokkuus vastaa roro-liikenteen satamalle asettamia vaatimuksia, mikäli suunnittelussa on otettu huomioon esimerkiksi sataman layout ja siihen liittyvä varastojen sijoitus ja arvioitua kuljetusmäärää vastaava varastojen koko (Vuoristo, 1994).

#### 2.2.8 Varustamon ja satamaoperaattorin mittarit

Roro-alusten tärkein kapasiteetin mittari on käyttöaste. Aluksen käytetty kapasiteetti ilmoitetaan todellisena tuotoksena jaettuna kaistametreillä. Kaistametri on kannella oleva yhden kaistan levyinen ja yhden metrin pituinen alue. (Styhre, 2009)

Yhden aluskäynnin aikana mitattu kapasiteetti ilmoitetaan termillä lastauskerroin (engl. load factor). Alus on suunniteltu kuljettamaan lastia maksimaalisten kaistametrien verran. Maksimaalista kapasiteettia ei voida saavuttaa lastirakenteen, kaistametrien korkeusrajoitteiden, liikuteltavien kansirakenteiden, aluksen sisäisten ramppien ja esimerkiksi painorajoitusten takia. (Styhre, 2010)

Lastauskerroin mittaa siten käytettyjä kaistametrejä (todellinen tuotos) verrattuna aluksen kokonaiskaistametreihin (suunniteltu kapasiteetti). Käytetty mittaustapa on sama kuin kapasiteetin käyttöasteen (%) mittauksessa. Todellinen tuotos sisältää lastin sitomiseen käytetyt kaistametrit, jotka on ilmoitettu taulukossa 1.

$$\text{Lastauskerroin} = \text{käytetyt kaistametri} / \text{aluksen kaistametri} \quad (2)$$

Käytetty kapasiteetti mitataan pidemmälle aikajaksolle kuten vuodelle. Kapasiteettia voidaan säädellä tarpeen mukaan muuttamalla alusaikatauluja. (Styhre, 2010) Taulukkoon 3 on koottu kapasiteetin mitoittamisessa käytetyistä keskimääräisistä arvoista (Styhre, 2009).

*Taulukko 3 Kapasiteetin mitoittamiseen käytettyjen mittareiden arvot.*

Mittari	Matala arvo	Keskimääräinen	Korkea arvo
Kapasiteetin käyttöaste tai lastauskerroin	<70 %	70 – 85 %	>85 %
Frekvenssi viikkolähtöinä	<3 kertaa viikossa	3-4 kertaa viikossa	>4 kertaa viikossa
Viennin-tuonnin epätasapaino	<5 %	5-10 %	>10 %
Markkinaosuus	<5 %	5-50 %	>50 %

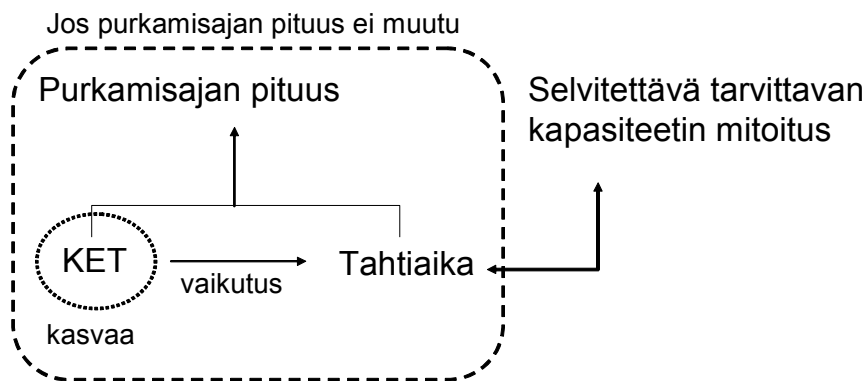
Kapasiteetin käyttöasteen vaihteluväli on 70–90 %, hyväksyttävä vaihteluväli on yleensä 75–88 %. Jopa 14–15 % käyttämättömän kapasiteetin tasoa on hyväksyttävää. Jos kapasiteetin käyttöaste on 100 %, lastaamiseen ja purkamiseen voi aiheutua viipeitä. (Styhre, 2009)



Aluksen purkauksessa käytettyjen koneiden ja laitteiden kapasiteetti on satamakohtainen. Kapasiteettia muuttaa esimerkiksi aluskoko, koska pienet alukset voidaan purkaa ja lastata nopeammin (Styhre, 2010).

## 2.3 Tavoitteet empiiriselle osalle

Läpivirtausaika on aluksesta purettavien puoliperävaunujen ja purkauksen tahtiajan tulo. Tahtiajan ja kapasiteettitarpeiden välistä suhdetta on selvitetty kuvassa 12. Tahtiaikaan vaikuttavat alusten ja ramppien taso, varastokentän koko, satamaoperaattorin prosessit, koneiden kuten vetomestareiden kapasiteetti ja noudot varastokentältä. Jos puoliperävaunujen määrä kasvaa, tahtiajan on lyhennettävä, mikäli läpivirtausaika pyritään pitämään ennallaan.

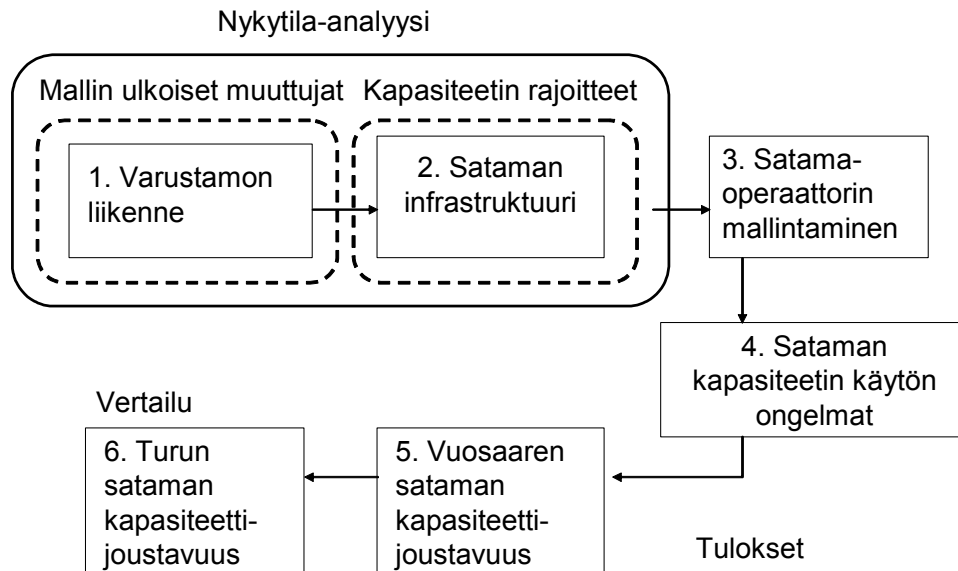


*Kuva 12 Purkamisaika ja kapasiteetin mitoitus*

Tutkittavassa ongelmassa on etsittävä sataman infrastruktuurin asettamat rajoitteet ja satamaoperaattorin prosessin tahtiaikaa rajoittavat pullonkaulat. Varustamosta on selvittävä varustamon liikennemäärät ja alukset. Satamainfrastruktuurista on selvittävä rampit, varastokentät ja ulosajovyylät. Satamaoperaattorista on mallinnettava aluksen purkauksen prosessit, koneiden maksimikapasiteetti ja noudot varastokentiltä.

### 3 Nykytilan analyysi

Empiirisen osan etenemistapa perustuu aggregoitujen tietojen tuottamisen prosessiin (Krajewski ja Ritzman, 2005:595). Tuotettu prosessi on selvitetty kuvassa 13.



*Kuva 13 Nykytilan analyysin kattama alue*

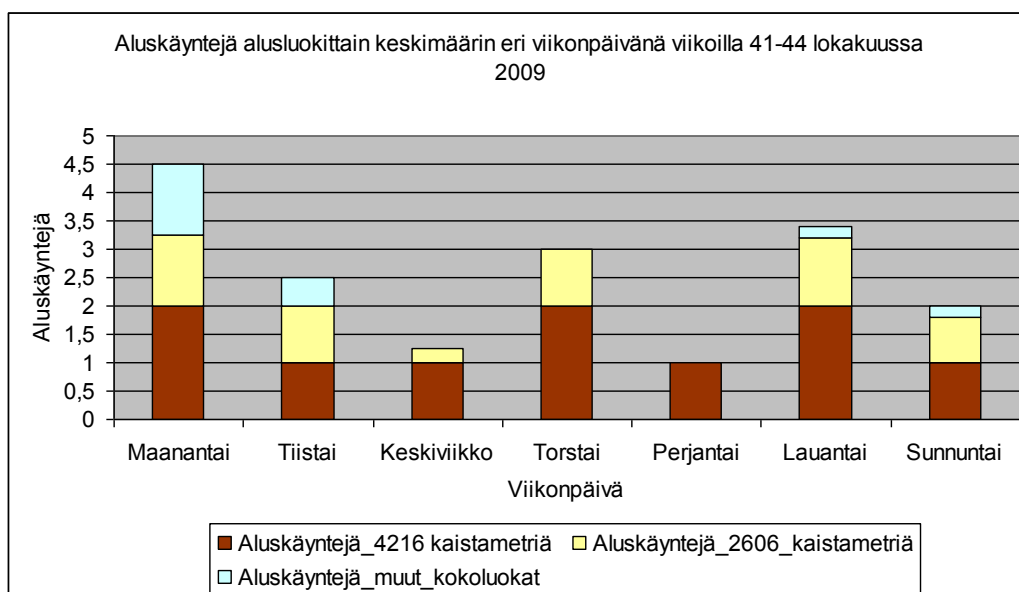
Nykytilan analyysissä selvitetään nykyiset liikennemäärät ja sataman kapasiteetti. Lähtötietoina käytetään satamaoperaattorilta saatuja lokakuun 2009 aluskäyntien ja kuljetettujen yksiköiden määriä. Lisäksi on käytetty satamaoperaattorin ilmoittamia mitattuja tietoja ja haastatteluissa esitettyihin kysymyksiin saatuja vastauksia.

#### 3.1 Varustamon liikenne

Varustamon liikenne tuottaa mallin ulkoiset muuttujat.

##### 3.1.1 Aluskäynnit

Varustamon Vuosaaren satamanosaan oli eniten aluskäyntejä maanantaina, tiistaina, torstaina ja lauantaina. Vähiten aluskäyntejä oli keskiviikkona, perjantaina ja sunnuntaina. (Finnsteve, 2009a) Aluskäyntien määrää on havainnollistettu kuvassa 14.



*Kuva 14 Alusten käyntikerrat eri viikonpäivinä*

Tutkitun varustamon Vuosaareen päivittäin liikennöivien alusten vastasatama on Saksassa Travemünde ja Puolassa Gdynia lokakuussa 2009. Myös Ruotsin, Tanskan, Venäjän ja useiden eri Pohjois-Euroopan satamien välillä on viikoittain aluskäyntejä. (Portnet) Aluskäyntien reitit on tarkennettu liitteessä 1 taulukossa 9.

Lokakuun 2009 jokaisena viikkona oli 17 aluskäyntiä. Seitsemässä aluskäynnissä lasti purettiin vain osittain. Kymmenessä aluskäynnissä suurilla 4216 kaistametrin aluksilla lasti purettiin kokonaan.

### 3.1.2 Liikennöintiin käytetyt alukset

Vuosaaressa on käytetty teknisesti ja rakenteellisesti nykyaikaisia aluksia. Vuonna 2009 Vuosaaressa purettiin ja lastattiin eniten aluksia lokakuussa (Finnsteve, 2009b). Kuukauden aikana purettiin ja lastattiin yhteensä 88 kpl ulkomaankaupan tuonnin ja viennin aluskäyntikertaa ja viisitoista eri alusta (Finnsteve, 2009a). Käyntikerrat on koottu liitteen 1 taulukkoon 10.

Turun satamassa oli lokakuussa 2009 yhteensä 195 kpl aluskäyntikertoja. Tutkitulla varustamolla oli Pansion satamaan 21 kpl aluskäyntejä ja 5 kpl Länsisatamaan (Portnet).

### 3.1.3 Kuljetusyksiköt

Lastina kuljetetuista kuljetusyksiköistä oli suuri osa kuorma-autoja ja puoliperävaunuja. Lähes kaikki kuorma-autot purettiin kokoluokan 4216 kaistametriä aluksista. Pääosa puoliperävaunuista purettiin kokoluokan 4216 kaistametriä aluksista. (Finnsteve, 2009a).

Roro-liikenteelle on tyypillistä noin 14 – 15 % käyttämätön kapasiteetti pidemmän aikavälin mittauksissa (Styhre, 2009). Kokoluokan 4216 kaistametrin aluksilla kuljetetaan lastia keskimäärin 85 % maksimaalisesta kapasiteetista eli 3584 kaistametrin verran. Yhdelle aluskäynnille ilmoitetaan käytetyn kapasiteetin sijaan lastauskerroin. Lastauskerroin sisältää myös kuljetusyksiköiden sitomisen tilantarpeen. Sitomisen tilantarvetta on havainnollistettu liitteen 1 taulukossa 11.

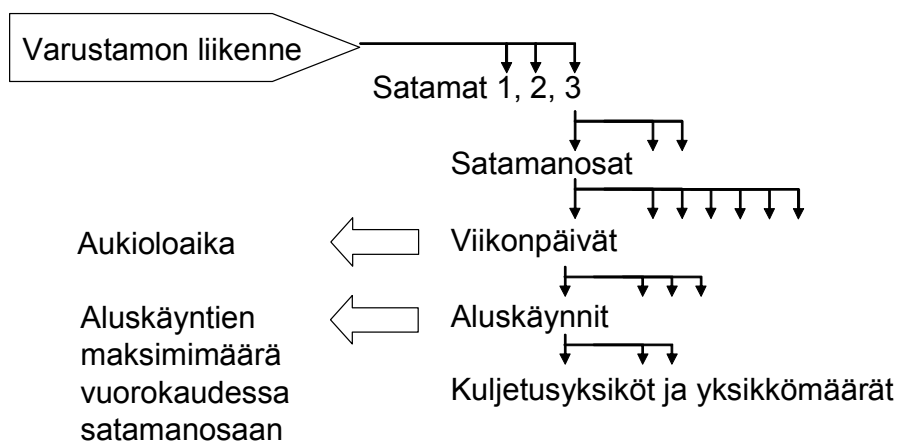
### 3.1.4 Satamaoperaattorin käyttämät tiedot varustamon liikenteestä

Satamaoperaattori suunnittelee alusten purkauksen purkausta edeltävänä päivänä. Suunnittelun lähtötietona ovat saapuvien alusten lastina kuljetettavat kuljetusyksiköt. Tämä prosessivaihe on kuvattu liitteessä 1 prosessivaiheessa 1.1.

Liikennemäärät eli aluskäyntien määrät ja käytetyt aluskoot selviävät liitteen 1 taulukosta 9. Käytetyt alukset näkyvät taulukossa 10. Alusten mukana kuljetetut kuljetusyksiköt eli kuorma-autot, puoliperävaunut, lauttavaunut ja muut kuljetusyksiköt selviävät taulukosta 11. Satamaoperaattorin suunnitteluun käyttämät tiedot on koottu liitteen 1 taulukkoon 12.

Mallin ulkoiset muuttujat ovat mallinnettavan sataman satamanosa, satamanosasta mallinnettavat viikonpäivät, jokaiselle viikonpäivälle aluskäynnit, jokaiselle aluskäynnille lastina olevat kuljetusyksiköt,

jokaiselle kuljetusyksikölle yksikkömäärät. Muuttujat on koottu kuvaan 15. Tuloksena on kaavassa 1 käytetty muuttuja nimeltä keskeneräinen tuotanto. Tässä tutkimuksessa keskeneräinen tuotanto tarkoittaa aluksen lastina satamaan saapuneita kuljetusyksiköitä, jotka odottavat ensimmäisen prosessivaiheen eli aluksen purkauksen käynnistymistä.



*Kuva 15 Varustamon liikenteestä käsiteltävät ulkoiset muuttujat*

Sataman läpivirtaus vuorokaudessa mitataan aluskäyntien, kaistakilometrien ja kuljetusyksiköiden kokonaismääränä. Mittaus tehdään yleensä alusten vaihdossa eli purkauksessa ja lastauksessa. Aluskäyntejä ei voi olla enempää kuin satamassa on alusten purkaukseen ja lastaukseen tarvittavia ramppeja ja rampeilla vapaata laituriaikaa.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavat alukset ovat kolmea eri kokoluokkaa. Suuret 4216 kaistametrin alukset puretaan ja lastataan kaksoisrampeilla, joita on käytettävissä vain Vuosaassa ja Travemündessä. Muut tutkimuksessa tarkastellut alukset ovat puolet pienempiä noin 2000 kaistametrin aluksia. Kolmantena tarkasteltavana aluksena on 3200 kaistametrin alustyyppi. Mallinnettavat kuljetusyksiköt ovat joko kuorma-autoja tai puoliperävaunuja. Kuorma-autot eivät kuormita satamaoperaattoria. Puoliperävaunut ja muut kuljetusyksiköt kuormittavat, koska satamaoperaattori vetää ne ulos aluksesta vetomestareilla.

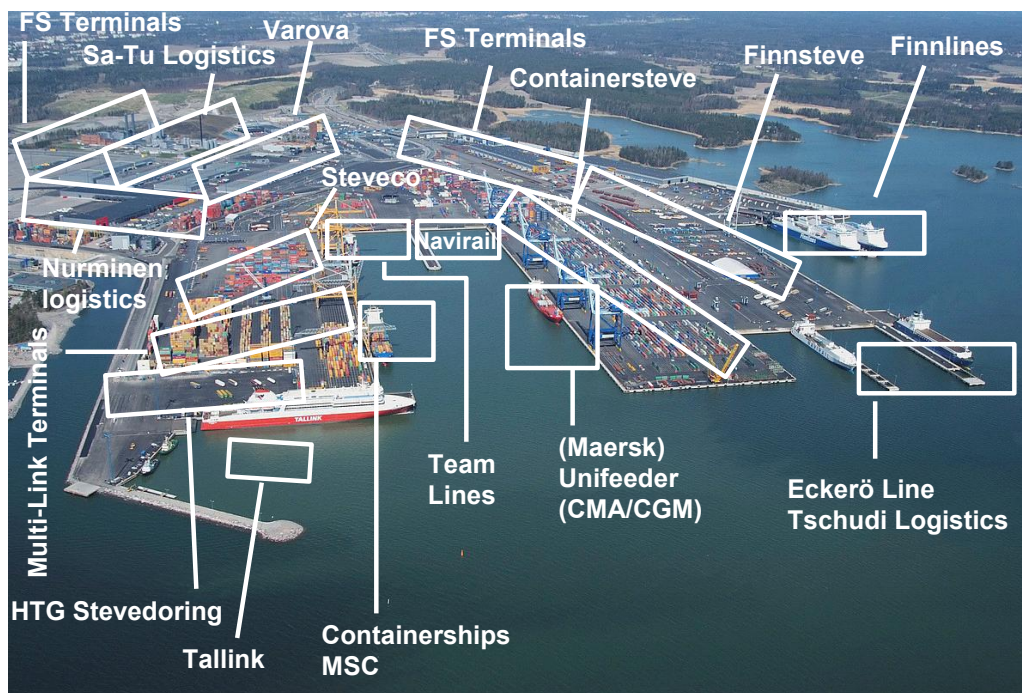
## 3.2 Sataman infrastruktuuri

Sataman infrastruktuuri asettaa mallin kapasiteetille rajoitteet.

### 3.2.1 Vuosaaren sataman laiturialueet

Vuosaaren satamakeskuksen pääosia ovat porttialue, suljettu satama-alue, logistiikka-alue, huolto- ja korjaustoiminta-alue ja yrityspuistot (Helsingin satama, 2010a).

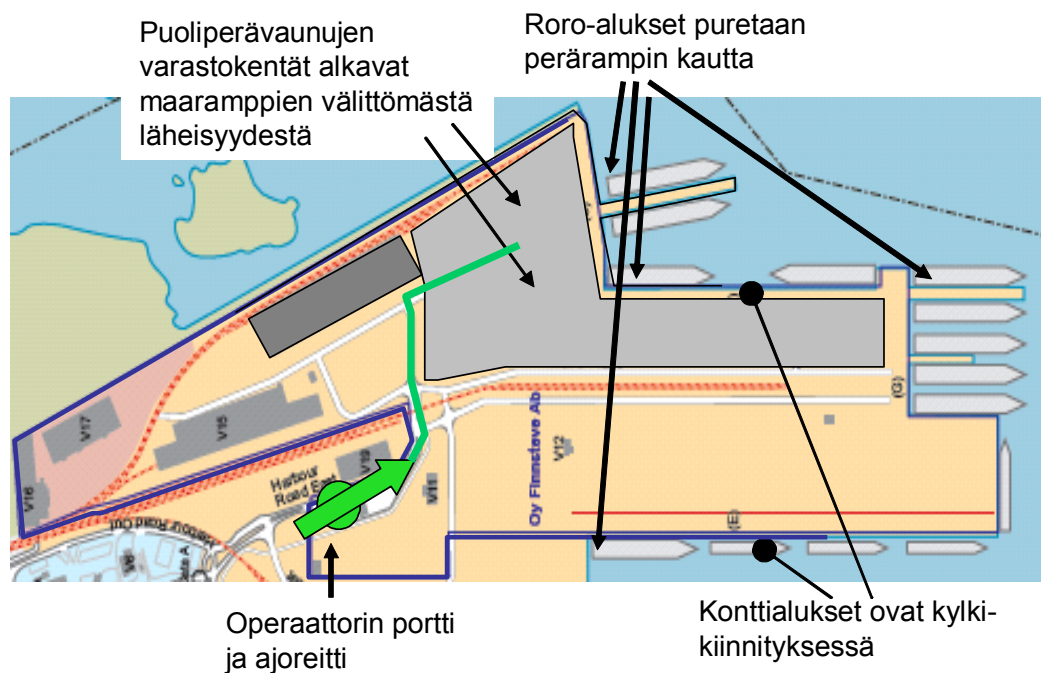
Finnsteve satamaoperaattorin käyttöön on varattu laaja satama-alueen osa (Helsingin satama, 2010a). Satama toimii landlord-periaatteella, jossa satamaoperaattori vastaa kaikesta palvelutarjonnasta asiakkaille. (Helsingin satama, 2009b) Vuosaaren sataman eri toimijoita on koottu kuvaan 16, jonka tiedot vastaavat tilannetta lokakuussa 2009 (Helsingin satama, 2010d).



*Kuva 16 Vuosaaren sataman satamaoperaattoreita, varustamoja ja terminaaleja*

Varustamo tekee sopimukset lähtö- ja tulosataman terminaalin kanssa. Terminaali on hallinnollinen ja operatiivinen yksikkö, jossa

satamaoperaattori toimii. Terminaalia käsitellään yhtenä kokonaisuutena, johon kuuluu yksi tai useampia laituripaikkoja, varastokenttä ja maaliikenteen portti satama-alueelle. Satama-alueella on yksi tai useampia terminaaleja ja niille kaikille yhteinen portti ulos satama-alueelta. (Rautiainen, 2010) Vuosaaren sataman yhden satamaoperaattorin operoimaa terminaaliauetta on havainnollistettu kuvassa 17 (muokattu lähteestä Helsingin satama, 2010b).



*Kuva 17 Oy Finnsteve Ab satamaoperaattorin terminaaliaue*

Alukset joko varaavat laituripaikan koko päiväksi tai purkavat aamulla ja saapuvat mahdollisesti lastamaan illalla paluukuormaa. Alusten laituripaikkoja ei normaalioloissa vaihdella, joten terminaalia ei tarvitse ohjata tarkalla tasolla. (Rautiainen, 2010) Alusten purkaukseen ja lastaukseen on käytettävissä kaksi kaksoisrampia ja maaramppeja (Takanen, 2010).

### 3.2.2 Sataman rampit

#### 3.2.2.1 Keskimääräinen ramppiteho ja vetoteho purkauksen aikana

Aluksen purkausnopeutta rajoittaa ramppiteho eli purettavien yksikköjen yhteismäärä tunnissa ramppia kohti. Leveän maarampin ramppiteho on keskimäärin 25 vetoa tunnissa mitattuna koko purkauksen ajalta. Kaksoisramppi on aina leveä ja sen ramppiteho on keskimäärin 50 vetoa tunnissa mitattuna koko purkauksen ajalta. Kapean maarampin ramppiteho ei yllä keskimäärin 25 vetoon tunnissa mitattuna koko purkauksen ajalta ellei samanaikaisesti vetomestareiden määrää lisätä. (Takanen, 2010).

Ramppiteho muodostuu vetomestareiden rampin yli vetämien kuljetusyksiköiden kappalemäärästä tunnin aikana. Eri kuljetusyksiköiden ramppitehoja on koottu liitteen 1 taulukkoon 13. Satamaoperaattori mittaa myös yksittäisen vetomestarin työskentelyä eli vetotehoa satamakohtaisesti päivittäin. Vetoteho on aluksen purkauksen aikana yhden vetomestarin varastokentälle vetämien yksiköiden määrä ilmoitettuna yhden tunnin pituiselle jaksolle. Yhdelle vetomestarille on satamaoperaattorin ilmoituksen mukaan Vuosaaren satamassa mitattu keskimäärin 5,7 vedon vetoteho. Vuosaaren sataman ilmoittamiin ramppitehoihin pääseminen edellyttää, että suurimpia aluksia purkaa 10 vetomestaria kaksoisrampilta ja muita aluksia purkaa 6 vetomestaria maarampilta. (Takanen, 2010)

Uusien autojen ramppinopeuteen vaikuttaa eniten autoja ulos ajavien miesten määrä. Yksi mies voi ajaa kerralla ulos kuusi autoa. Uusien autojen ulosajoon on mitoitettu enintään 10 miestä. Sääkansikontit nostetaan 20 kontin tuntivauhdilla samalla kun alusta tyhjennetään ramppien kautta (Takanen, 2010).

#### 3.2.2.2 Ramppitehon ylläpitämiseen vaikuttavat tekijät

Aluksen purkauksessa yleensä käytetty ramppiteho voi muuttua, mikäli aluksen purkaukseen ei voida osoittaa tehokkainta mahdollista ramppia. Muita ramppitehoa heikentäviä syitä on koottu liitteen 1 taulukkoon 14.



Ramppiteho putoaa huomattavasti, mikäli perämies ei koko ajan tasaa laivan asentoa pumppaamalla vettä aluksen rakenteisiin. Kun aluksen perä kevenee ja nousee ylös, aluksen perärampin ja maarampin väliin tulee korkea kynnyks. Tällöin vetomestari joutuu pysähtymään ja kynnyks ylitetään hitaasti. Kaikissa uudemmissa aluksissa on asennettuna aluksen tasaus vedellä lastia purettaessa. Esimerkiksi Vuosaareen saapuu vain aluksia, joissa tasaus on mitoitettu riittäväksi. Turkuun saapuu aluksia, joilla tasaus vedellä ei poista rampille muodostuvaa kynnyks. Tästä syystä ajoittain tapahtuu vahinkoja. Esimerkiksi vedettävän yksikön jalat osuvat ramppiin kynnyks ylitettäessä ja taipuvat, vaikka jalat ovat ylös veivattuina rampin ylityksen aikana. (Takanen, 2010)

Todellinen ramppiteho voi olla lastaus- ja purkaustavan takia erittäin alhainen vanhemmilla aluksilla koko purkausajalle mitattuna. Kapeaa alusta puretaan kapean rampin kautta. Alus on lastattu täyteen pienen aluskoon takia ja samalla aluksen sisäiset kulkuväylät on tukittu. Kun aluksen lastauskerroin on maksimaalinen, aluksen lastaukseen ja purkaukseen syntyy viivettä (Styhre, 2009).

### 3.2.2.3 Alusten ja ramppien yhteensopivuus

Alukset eroavat toisistaan teknisesti kokoluokan, alusten purkaukseen vaikuttavien kansirakenteiden sekä sisä- ja perärampin suhteen (Takanen, 2010). Varustamo käytti Turussa pienempiä aluksia kuin Vuosaareen (Portnet). Siten alusten purkauksen prosessi voi olla erilainen Vuosaareen ja Turussa. Alusten välisiä eroja kyvyssä käyttää kaksoisramppia ja tietoja alusten perärampin leveyksistä on koottu liitteen 1 taulukkoon 15.

Maaramppi on aluksen kannen toisen kannen tasolla. Muut kannet puretaan siirtämällä lastit aluksen sisäisiä ramppeja pitkin kannelta toiselle. Osa aluksista voi kiinnittyä kaksoisramppiin, mutta käyttää vain maaramppia. (Takanen, 2010)

Kaksoisrampissa on maarampin lisäksi kolmannelle kannelle vievä yläramppi. Osa aluksista on suunniteltu käyttämään kaksoisramppeja ja kansien kaksi ja kolme väliset sisäiset rampit puuttuvat. (Takanen, 2010) Kaksoisrampin kautta yläkannelle lastattavat 4216 kaistametrin alukset eivät tule purettaviksi Turun kantasataman kapeille rampeille. Aluksilta puuttuvat sisäiset ajorampit kansien kaksi ja kolme väliltä, joten alukset voidaan lastata ja purkaa vain kahdelle alimmalle kannelle Pansion sataman leveillä maarampeilla.

Roro- ja ropax-alus voidaan purkaa ilman ramppeja, mikäli alus ajetaan kiinni laituriin ja lasti puretaan aluksen oman perärampin kautta. Tällöin peräramppi lasketaan laiturille ja lasteja ulos vedettäessä on varottava rampin ja laiturin välistä korkeuseroa. (Takanen, 2010)

Vain Vuosaaren satamassa on kaksoisramppi, jonka kautta 4216 kaistametrin alukset voidaan purkaa molemmilta kansilta. Alusten purkausnopeus ja lastauskerroin muuttuvat Turun sataman rampeilla. Muutosta on selvennetty liitteen 1 taulukossa 16.

Alusten purkausnopeus ei siis pysy vakiona. Mikäli aluksella on käytössään aluksen peräramppiin parhaiten sopiva maaramppi, aluksen purkausnopeus on maksimaalinen.

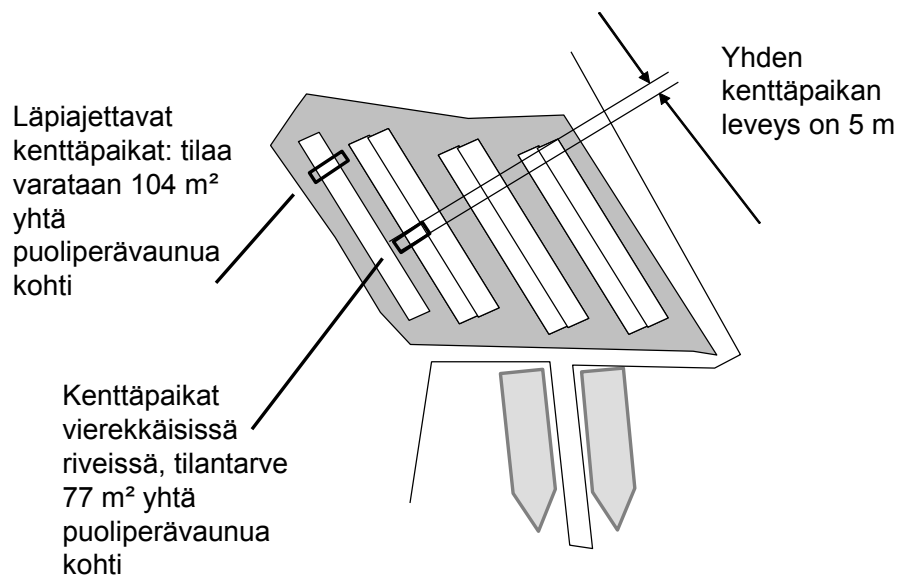
### 3.2.3 Varastokenttien kokovaatimukset

Tukkukauppojen lastien tulee ehtiä tukkukauppojen jakelurunkoihin, jotka lähtevät Suomessa eteenpäin kello 14.00. Tukkukaupan jakelurunkoihin menevät lastit tulisi vetää ensimmäisenä ulos aluksista. Tämä parantaisi palvelutasoa, nopeuttaisi varaston kiertoa ja pienentäisi satamainfrastruktuurin suurta kokoa. Tällä hetkellä lähtösatamassa ei ole kykyä ottaa toimintamallia käyttöön. Tästä syystä koko alus joudutaan purkamaan kello 11.00 mennessä. Tukkukauppojen asettamat alusten purkauksen nopeusvaatimukset edellyttävät satamainfrastruktuurin suurta kokoa. (Takanen, 2010)

Varastokenttien koko rajoittaa liikennemäärien kasvua. Satamakentät vaikuttavat työskentelyn nopeuteen Vuosaassa, mutta eivät ole merkittävä rakenteellinen pullonkaula. (Takanen, 2010)

Lastien ympärivuorokautinen nouto hidastaa varaston kiertoa, kun vientilastit tuodaan samalla käynnillä varastokentille. Tämä lisää varastokenttien kokovaatimuksia. (Takanen, 2010)

Varastokentän kenttäpaikat varataan mahdollisimman läheltä purettavaa alusta. Purettaville yksiköille varataan kahden tyyppisiä kenttäpaikkoja Vuosaassa. Läpiajettavat kenttäpaikat ovat nopeita käyttää, mutta yhtä ruutua varten on varattava suurempi osuus käytävän viemää tilaa kuin vinottain kahdessa vierekkäisessä rivissä oleville kenttäpaikoille. Vientiyksiköt voidaan ennen lastausta varastoida kyljittäin kiinni toisiinsa, mikäli varastokenttä uhkaa täyttyä. Tuontikuormille on aina varattava kenttäpaikat käytäviltä, jotta kuljetusyritykset voivat poimia puoliperävaunut ruuduista. Kenttäpaikkojen vaihtoehtoja on havainnollistettu kuvassa 18. (Takanen, 2010)



*Kuva 18 Varastokentät alkavat kaksoisramppien välittömästä läheisyydestä.*

Satamaoperaattorin roro-terminaalin varastokentän kapasiteetti on mitoitettu toimimaan 365 päivää vuodessa. Kenttäpaikkoja on 1080 kpl. Kenttäpaikat on jaettu varastokentän lohkoihin liitteen 1 taulukon 17 mukaisesti. Aluksista purkautuvat puoliperävaunut noudetaan vuorokauden sisällä, joten vuotuinen kapasiteetti on noin 400.000 puoliperävaunua. (Helsingin satama, 2010c)

Lähinnä kaksoisrampilla olevilla kentillä voi perävaunupaikkoja olla esimerkiksi kolmessa rivissä, jokaisessa kolmasosa kentän ruutujen kokonaismäärästä:

$$\text{Kentän pituus} / \text{ruudun leveys} = (200 \text{ m} - 20 \text{ m}) / 5 \text{ m/ruutu} = 36 \text{ ruutua} \quad (3)$$

$$\text{Puoliperävaunujen määrä aluksella} / (3) = \text{Aluksen purkaukseen varattavien rivien määrä valitulla kentällä} \quad (4)$$

Kalanruotorivissä on kaksinkertainen määrä ruutuja. Liitteen 1 taulukossa 18 on esimerkki purkaukseen varattujen rivien laskemisesta. Noudot vähentävät kaavan (4) mukaista tilantarvetta.

Varastokenttien ja käytävien muoto ja varastokentällä samanaikaisesti asioivien autojen määrä vaikuttavat kentän kokovaatimuksiin. Sekakenttien käyttö kasvattaa kokovaatimuksia, kun tuonnin ja viennin kuljetusyksiköt on voitava selkeästi noutaa ja pudottaa omille alueilleen sekaannusten välttämiseksi. Lisäksi vaarallisten aineiden kuljetusyksiköiden varastoiminen kasvattaa varastokentän kokovaatimuksia, kun kuljetusyksiköiden ympärille on jätettävä varomääräysten mukaisesti tyhjiä kenttäpaikkoja. (Takanen, 2010)

### 3.2.4 Kulkuväylät

Sisäänajoa operaattorin portista rytmitetään liikennevaloilla, mikä havainto tehtiin tutustumiskäynnillä Vuosaaren satamaan marraskuussa 2009. Rekat tunnistetaan ja ohjataan opastetauluilla oikeaan ruutuun. Liikenteen ohjauksen takia sisäänajokaistojen nopeutta ei voi laskea

matemaattisesti. Autojen tunnistamisesta aiheutuu viipeitä, joten yhdeltä kaistalta saapuu satamaoperaattorin ilmoittaman mittauksen mukaan satama-alueelle 60 rekkaa tunnissa. Jos kuormia noutamaan tulevat autot käyttävät kolmea kaistaa, läpivirtaus operaattorin portin kautta on 180 autoa tunnissa. Mikäli satamassa puretaan samanaikaisesti neljää saapunutta roro-alusta, kahdelta kaksoisrampilta vedetään varastokentälle puoliperävaunuja yhteensä 100 kpl tunnissa ja kahdelta maarampilta 50 kpl tunnissa. Läpivirtaus operaattorin portista ei aseta rajoitteita alusten purkamiselle ja lastaamiselle.

Sisäänajo portista voi ruuhkaantua perävaunujen noutojen takia. Tämä ongelma rajoittaa perävaunujen purkausta. Jos lastin laivasta purkamisen aikana kentälle tulee yhtäaikaista paljon noutavia autoja, ruuhkauttaa se käytävät ja hidastaa myös vetomestareiden työskentelyä. Kentän ruuhkautumista voidaan jossakin määrin säännöstellä rajoittamalla portilla alueelle pääsyä hetkellisesti tai määräajoin. (Takanen, 2010)

Ulosajo operaattorin portista on sujuvaa, koska käytettävissä on 1 – 6 kaistaa. Neljää kaistaa käytetään kuorma-autojen poistumiseen operaattorin portista. Rekat pysähtyvät operaattorin portilla asioimista varten lyhyeksi aikaa. Rekkoja ei tunnisteta automaattisesti, joten rekkojen välimatka on laskettu täyteen lastattujen rekkojen keskinopeuden ja turvavälin perusteella. Laskelmien tulokset on koottu liitteen 1 taulukkoon 19.

Keskinopeus satama-alueella on 30 km / h (Helsingin satama, 2010a). Suunnittelussa käytetty nopeus on kuitenkin 20 km/h (Rautiainen, 2010).

Puoliperävaunuyhdistelmän pituus on 16,5 m (Juhala, 2007).

Turvaväli rekalla jarrutettaessa sisältää reaktioajan 1 sekunti, jarruviiveen 0,5 sekuntia ja jarrutusmatkan. Kuormatun yhdistelmän pysähdysmatka perinteisillä rumpujarruilla on 95 metriä, kun nopeutta on 80 km/h. (Rahtarit, 2010)

$$\text{Turvaväli} = 8,3 \text{ m} + 4,2 \text{ m} + 95 \text{ m} \times 20^2/80^2 = 18,4 \text{ m}$$

Tahtiaika rekkojen ajaessa ulos portista = kuljettu matka /  
nopeus + pysähdys portilla + liikkeelle lähtö

Satamaoperaattori ilmoitti suullisesti portilla pysähdyksen mitatuksi ajaksi 10 sekuntia ja liikkeelle lähtöön ennen nopeuden saavuttamista kuluvan raskaasti lastattuna 15 sekuntia. (Takanen, 2010)

$$\begin{aligned}\text{Tahtiaika} &= ((18,4 \text{ m} + 16,5 \text{ m}) \times 0,001 \text{ m/km} / 20 \text{ km/h}) \times 3600 \\ \text{sek} &= 6,3 \text{ sek} + 25 \text{ sek} = 31,2 \text{ sek}\end{aligned}$$

Mikäli satamassa puretaan samanaikaisesti neljää saapunutta roro-alusta, kahdelta kaksoisrampilta ajaa lyhyen aikaa ulos kuorma-autoja yhteensä nopeudella 400 kpl tunnissa. Kahdelta maarampilta puretaan muita lastityyppejä. Läpivirtaus operaattorin portista ei aseta rajoitteita alusten purkamiselle ja lastaamiselle.

Ulosajo satama-alueen portista käyttää kahta kaistaa. Satama-alueen nopeusrajoitus on 30 km/h, porttialueella 20 km/h. (Helsingin satama, 2010a) Läpivirtaus kahdelta kaistalta ilmoitetulla nopeudella on 1400 ajoneuvoa tunnissa. Liikenne satamaan johtavilla väylillä sujuu ruuhkautumatta (Helsingin satama, 2009b). Läpivirtaus satama-alueen portilla ei aseta rajoitteita alusten purkamiselle ja lastaamiselle.

### 3.2.5 Sataman infrastruktuuriin tehdyt kapasiteettilisäykset

Vuosaaren ja Travemünden välistä ropax-liikennettä varten on suunniteltu kaksoisrampit, jotka nopeuttavat alusten purkamista ja lastausta. Vuosaaren sataman infrastruktuuri ja reitillä käytettävät alukset on suunniteltu yhteen toimiviksi. Aluksen ylemmät kannet jäävät lastaamatta, mikäli alusta käytetään satamissa, joissa ei ole alukselle suunniteltua kaksoisramppeja. Alus ei lastaa ja pura satamassa, jossa on vain kapeita maaramppeja.

Vuosaassa aluksen purkaukseen ja lastaukseen varataan normaalisti vähintään 10 tuntia, jolloin aluksen purkausta ja lastausta voidaan pitää nopeana.

Varastokentän maksimikoko 1080 ruutua.

Sataman ajoväylät eivät rajoita useiden alusten samanaikaista purkausta. Operaattorin portista voidaan ajaa ulos kuudelta kaistalta yhteensä 707 rekkaa tunnissa. Koko Vuosaaren sataman satama-alueelta poistuminen kahdella kaistalla kykenee välittämään yli tuhat ajoneuvoa tunnissa. Tarve sataman portin välityskykyyn on tällä hetkellä 275 – 300 autoa tunnissa (Rautiainen, 2010). Ulosajossa operaattorin portista läpäisykyky on neljällä kaistalla 460 autoa / h. Sisäänajo operaattorin portista on kolmella kaistalla 180 autoa / h.

### 3.2.6 Satamaoperaattorin käyttämät tiedot sataman infrastruktuurista

Satamaoperaattori ohjaa saapuvat alukset rampeille. Alusten kyky käyttää rampeja on kuvattu liitteessä 1 taulukossa 15. Kuljetusyksiköiden purkauksen ramppitehot selviävät taulukosta 13. Satamakohtaiset erot selviävät taulukosta 16.

Satamaoperaattori varaa aluksen purkaukseen tarvittavan satamainfrastruktuurin eli varastokentän ruudut. Satamaoperaattori tarkistaa alusten purkausajan ja ilmoittaa kuljetusliikkeille noutoajankohdan, jolloin puoliperävaunu on vedetty aluksesta ja on valmis noudettavaksi. Myös vetomestarit kohdistetaan ensimmäisen kerran alusten purkaukseen tässä vaiheessa. Tämä prosessivaihe on kuvattu liitteessä 1 prosessivaiheissa 1.2, 1.3 ja 1.4.

Kuorma-autojen purkaus on nopeaa, koska ramppiteho säilyy aluksen rampilta satamaoperaattorin portille asti. Puoliperävaunujen ramppiteho on keskimäärin suurempi kuin muiden kuljetusyksiköiden kuten lauttavaunujen, kasettien ja sääkansikonttien. Keskimääräinen purkausaika saadaan jakamalla purettavat määrät eri lastilajeille suunnitelluilla ramppiteholla. Jos alusten purkaus päättyy keskimääräisen

ramppinopeuden antamien tulosten perusteella ennen kello 11.00, alusten purkausta ja purkauksen kapasiteettitarpeita ei tarvitse suunnitella tarkemmalla tasolla. Purkausnopeuksia on havainnollistettu liitteen 1 taulukossa 21.

Varastokentältä varattava tila pienenee, mikäli noudot otetaan mukaan laskelmiin. Noudot nopeuttavat varastokentän kiertoa ja vähentävät purkaukseen tarvittavien ruutujen määrää. Kuljetusyriyksille ilmoitetun noutoajankohdan eli aikaikkunan on mitattu pitävän paikkansa 98 % tarkkuudella. Satamaoperaattorin ilmoittamien mittausten mukaan 30 % varastokentille vedetyistä kuljetusyksiköistä noudetaan kuljetusyriykselle ilmoitetun aikaikkunan sisällä. Purkauksen aikana noudetaan yhteensä 55 % ja loput 37 % noudetaan iltapäivän ja illan aikana. Varastokentille jää seuraavana päivänä noudettaviksi 8 % päivän aikana puretuista puoliperävaunuista. Noutoja on vähemmän lauantaina ja sunnuntaina. Viikonlopun aikana purettaville kuormille varataan sama määrä varastokentän ruutuja kuin aluksessa on ulos vedettäviä yksiköitä. Luvut ovat satamaoperaattorin ilmoittamia mittauksia ja ne on kerrottu suullisesti haastattelussa 12.4.2010.

Jos 55 % aluksesta puretuista puoliperävaunuista noudetaan purkauksen aikana, purkauksen lopussa varastokentältä tarvitaan ruutuja enintään

$$(1-0,55) \times \text{pv (alus)} + \text{muut aluksesta puretut kuljetusyksiköt (5)}$$

Tarvittava ruutumäärä on todellisuudessa suurempi. Lastit on vedettävä varastokentille nopeammin kuin mitä lastit keskimäärin noudetaan. Vuosaaressa kenttäpaikoista keskimäärin 430 eli kolmannes on käytössä päivittäin. Noin 940 varastopaikalle on suunniteltua käyttöä viikonlopun jälkeen maanantaiaamuna. Alusten purkamisen käynnistyttyä huipputunnin aikana käytetään yli tuhatta kenttäpaikkaa. (Takanen, 2010)

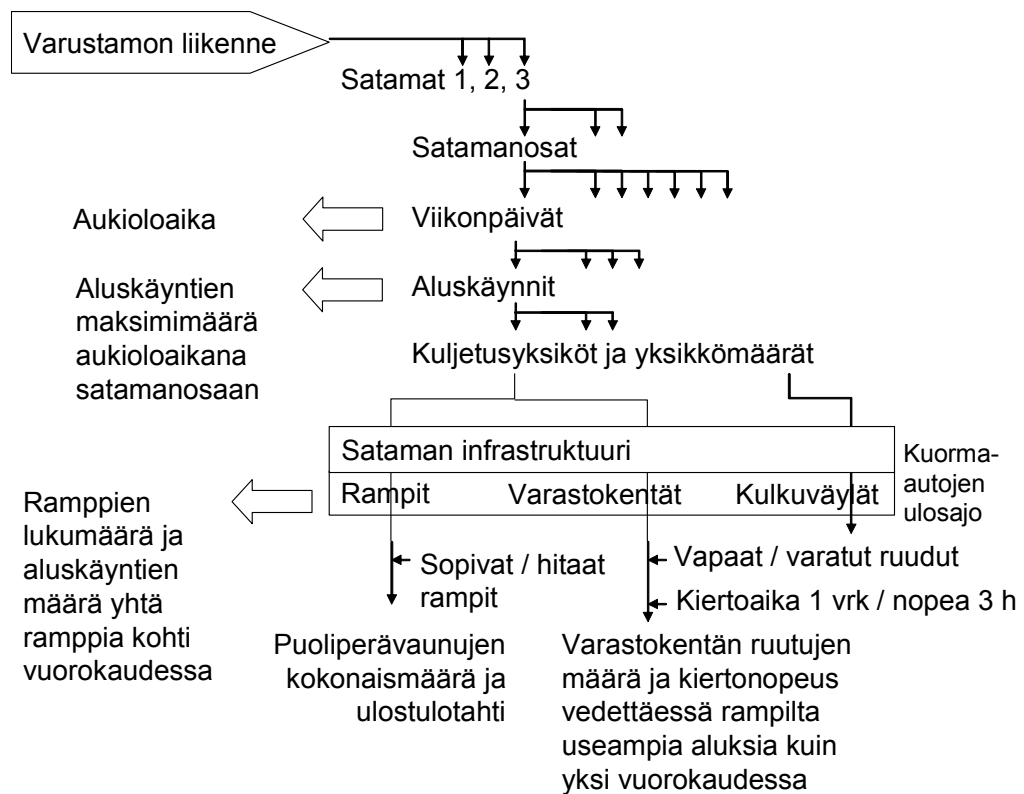
Sataman kulkuväylien ja sataman porttien välityskyky on suurempi kuin sataman muun infrastruktuurin välityskyky. Varastokentän käytävät eivät sisälly sataman kulkuväyliin. Kulkuväylien kapasiteetti on selvitetty operaattorin portin sisään- ja ulosajosta sekä sataman ulosajosta.



Sisäänajo on yhdeltä operaattorin portin kaistalta 60 rekkaa tunnissa. Kaistoja voi olla käytössä kolme. Yhdeltä kaistalta voi ajaa ulos operaattorin portista 115 rekkaa tunnissa ja kaistoja voi olla käytössä jopa kuusi. Yhdeltä kaistalta voi poistua satama-alueelta 700 rekkaa tunnissa. Sataman normaali ulosajon tarve on ollut vajaa 300 rekkaa tunnissa.

### 3.2.7 Sataman infrastruktuurin rajoitteet

Mallin rajoitteet asettavat ylärajan varustamon alusten ja kuljetettavien kuljetusyksiköiden enimmäismäärälle. Rajoitteet on koottu kuvaan 19.



*Kuva 19 Varustamon liikenne ja sataman infrastruktuurin asettamat rajoitteet liikenteelle ja kuljetusmäärille*

Mallin rajoitteita ovat rampit, varastokentän ruudut sekä kulkuväylien ja porttien välityskyky. Ensimmäinen rajoite eli ramppien lukumäärä rajoittaa satamaan vuorokauden aikana saapuvien aluskäyntien kokonaismäärää. Sataman aukioloaika rajoittaa yhden rampin käyttötunteja, joten rampilla ei välttämättä ehdi käydä kahta alusta, mikäli

kuljetettavat kuljetusyksiköt ovat hitaita purkaa. Purkauksen nopeuteen liittyy myös toinen rajoite, koska kapealta rampilta puretaan hitaammin kuin leveältä rampilta. Myös kolmas rajoite liittyy purkauksen nopeuteen, koska kuorma-autot purkautuvat nopeasti, mutta muut kuljetusyksiköt hitaammin. Lisäksi on muistettava, että vain osalla reiteistä ja aluksista kuljetetaan nopeasti purettavia kuljetusyksiköitä. Mikäli reitille vaihdetaan ropax-aluksen tilalle roro-alus, reitillä kuljetetaan vain hitaasti purettavia kuljetusyksiköitä. Kolmas rajoite liittyy myös varastokenttään, jonka tulee olla riittävän suuri purettaville kuljetusyksiköille. Neljäs rajoite ei rajoita Vuosaaren läpivirtausta.

Sataman infrastruktuuri rajoittaa aluskäyntien määrää ja aluksista purkautuvien puoliperävaunujen määrää. Sataman infrastruktuurin läpivirtausta mitataan aluskäyntien, kaistakilometrien tai kuljetusyksiköiden määrällä vuorokaudessa tai purkauksen ja lastauksen aikana. Yhdellä rampilla puretaan yleensä yksi alus sataman aukioloaikana. Varastokentän kiertonopeutta ja täyttymistä ei tällöin tarvitse mitata muutoin kuin purkauksen ajalta. Mikäli yhdeltä rampilta purettaisiin useita aluksia, varaston kiertonopeutta tulisi seurata kaikkien ramppien purkauksen ajan, jotta varasto ei täyty.

Sataman toteutuva läpivirtaus vaihtelee viikonpäivän ja purkauksen vaiheen mukaisesti. Sataman toteutuva läpivirtaus määräytyy eri viikonpäiville mitattujen kuljetusyrityksen noutoprofiilin mukaisesti. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan selvitetä eri viikonpäivien noutoprofiileja. Tutkimuksessa käytetään keskimääräisiä tietoja.

### **3.3 Sataman ongelmat**

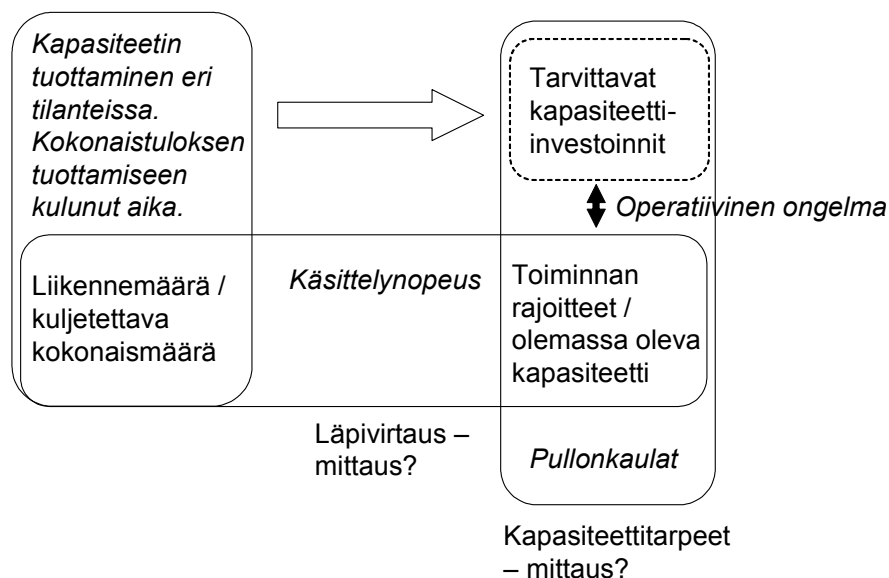
Alusten purkamisesta ja lastaamisesta aiheutuu kuormitushuippuja. Varustamon alusten korkeat lastauskertoimet kasvattavat purettavaa eräkokoa. Tukkukaupan runkojakeluun tarkasti aikataulutetut puoliperävaunut on saatava lähtemään ajoissa, joten aluksen purkauksen tulee toteutua kello 11.00 mennessä. Satamaoperaattorin

kapasiteetin kuormitus kasvaa, kun täyteen lastatusta aluksesta purkaantuu normaalia enemmän puoliperävaunuja.

Jotta satama säilyttää kapasiteettijoustavuuden, satamanpitäjän tulee mitoittaa laiturialueet, rampit, varastokentät ja kulkuväylät sataman kuormituksen mukaisesti. Jotta alusten purkauksessa saavutetaan riittävä käsittelynopeus, satamaoperaattorin tulee mitoittaa vetomestarit ja noudot varastokentältä tarvittavan kapasiteetin mukaisesti.

Mallinnettavat operatiiviset ongelmat ovat alusten purkaukseen tarvittavan kapasiteetin ja olemassa olevan kapasiteetin välisiä eroja. Mallinnettavien operatiivisten ongelmien suhdetta mallin muihin osiin on havainnollistettu kuvassa 20.

Kapasiteettijoustavuus – mittarit?

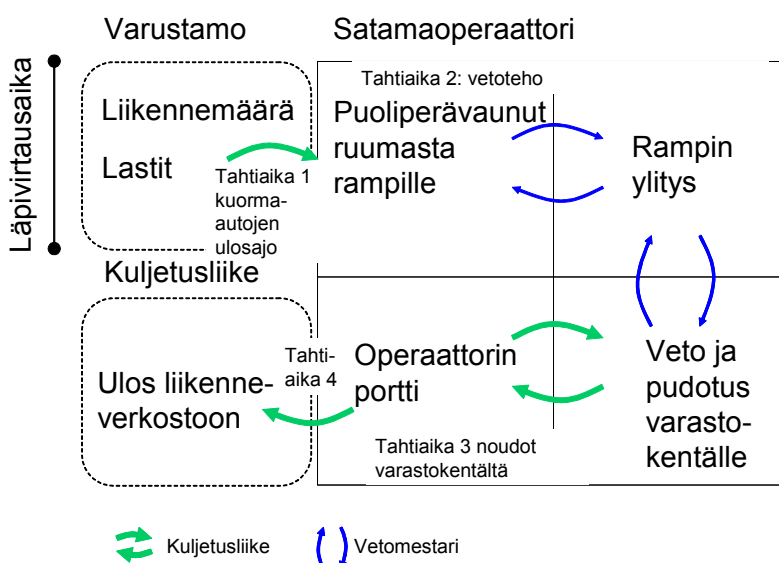


*Kuva 20 Teorian perusteella tuotettavan mallin rakenne*

Liikennemäärän ja kuljetettavan kokonaismäärän muutos voi vaikuttaa sekä kapasiteettijoustavuuteen että läpivirtaukseen. Selvitettävänä on, mitkä tilanteet ja kuinka suuret muutokset aiheuttavat lisäkapasiteettitarpeita tai heikentävät läpivirtausta. Lisäksi selvitetään järjestelmän osa, jonka lisäkapasiteetti parantaa sataman kapasiteettijoustavuutta ja läpivirtausta.



Puoliperävaunujen käsittely vaiheissa (D) – (G) esitetään tuotannon layout-mallin mukaisesti kuvassa 22 (Krajewski ja Ritzman, 2005:302). Tämä tuo esiin rajapinnat, jotka voivat olla rajoitteena läpivirtaukselle.



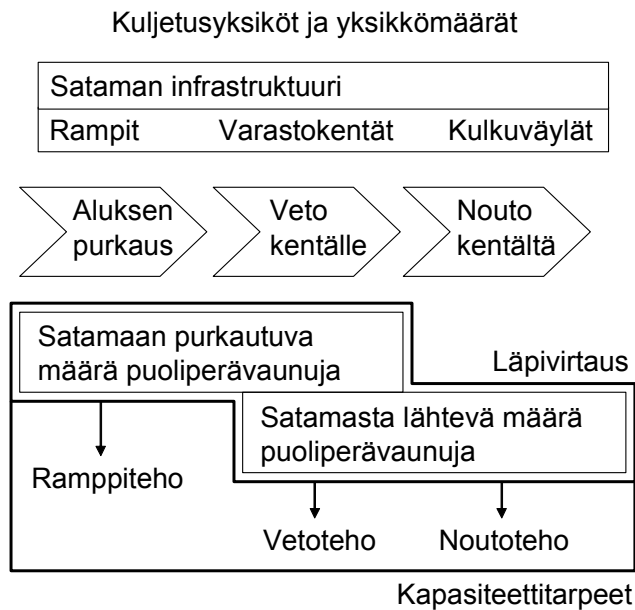
*Kuva 22 Puoliperävaunujen purkamisen päävaiheet satamassa*

Aluksen purkausaika lasketaan ramppitehosta, joka määrää kuvan 22 tahtiajat 1 ja 2. Kuljetusliikkeen noutoteho määrää tahtiajat 3 ja 4. Tahtiaika 4 ei aseta rajoitteita läpivirtaukselle, koska poistumisväylien kapasiteetti on mitoitettu ramppitehoa suuremmalle teholle. Satamaoperaattorin prosessivaiheet on koottu liitteeseen 2.

## 4.2 Läpivirtauksen ja käsittelyn nopeuden laskenta

Sataman läpivirtaus voidaan laskea joko puoliperävaunujen purkauksesta aluksesta varastokentälle tai puoliperävaunujen noudosta varastokentältä ja edelleen ulos satamasta. Kapasiteettitarpeita mitataan eri tavoin, kun alusta puretaan tai kuljetusyrietykset noutavat puoliperävaunuja varastokentältä.

Satamaoperaattori mittaa toiminnan nopeutta. Kapasiteettitarpeiden laskenta perustuu jonotusaikoihin eli aluksen purkaukseen kello 11.00 mennessä. Kun aluksesta puretaan puoliperävaunuja, prosessille voidaan laskea tarvittava ramppiteho, vetoteho ja noutoteho. Näitä on havainnollistettu kuvassa 23.



*Kuva 23 Kapasiteetin mitoitus puoliperävaunujen purkauksessa*

Kuorma-autojen ramppiteho on nelinkertainen verrattuna puoliperävaunujen ramppitehoon. Jos ramppiteho ei ole riittävä, osa kuljetusyksiköistä tulee vaihtaa tehokkaammin käsiteltäviksi.

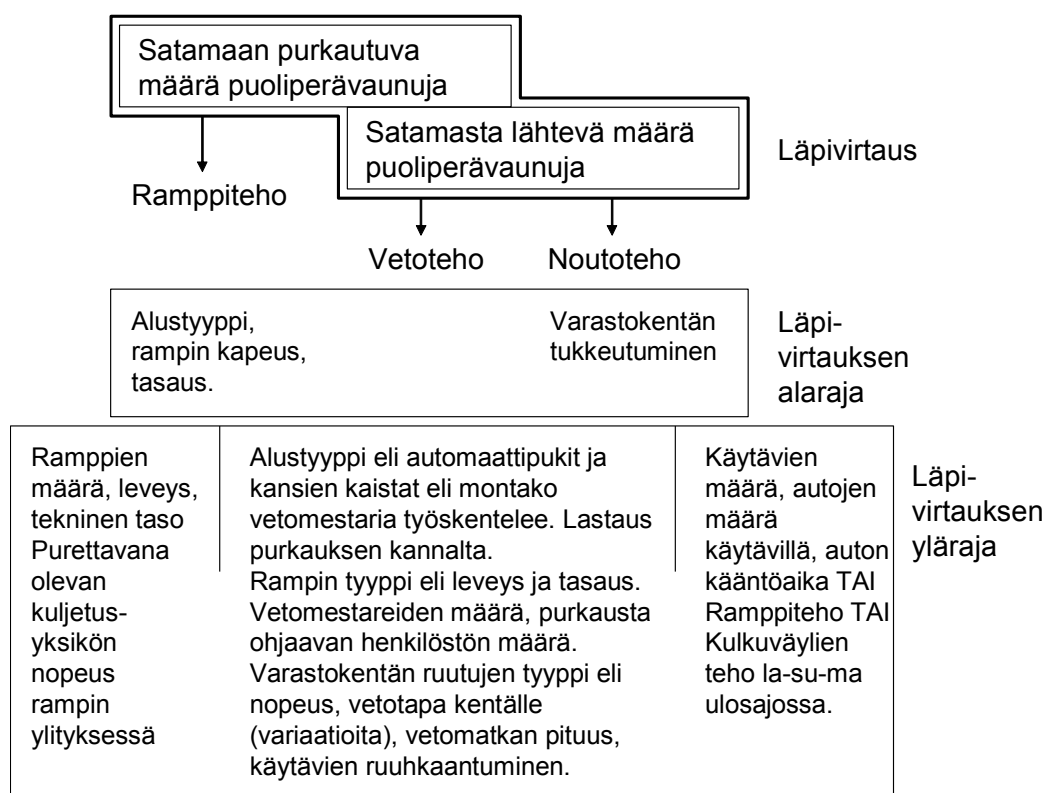
Vetotehon laskenta on ongelmallista. Vetoteho ilmoitetaan koko aluksen purkauksen ajalta mitattuna keskimääräisenä vetotehona. Maksimitehoa voidaan käyttää jonkin aikaa aluksen purkamisen aikana. Vetoteholla on minimiaika, jota ei teknisesti voi alittaa.

Noutoteholla on suuri vaikutus sataman läpivirtaukseen. Noutotehon vaikutukset lasketaan esimerkiksi varastokentän ruutujen tarpeena. Noutotehoon on vaikea vaikuttaa, koska noutoteho määräytyy kuljetusyriyten toimenpiteiden perusteella. Noutoteho vaikuttaa myös vetotehoon, kun keskimääräiset vetomatkat lyhenevät noudettaessa läheltä ramppia.

Satamaoperaattorin prosessin mallintamisen tulokset on koottu liitteisiin. Liitteessä kaksi on satamaoperaattorin prosessin vaiheet, liitteessä neljä on vetomestareiden käyttö aluksen purkauksessa, liitteessä viisi on vetomestareiden kapasiteetin käytön laskentaa ja liitteessä seitsemän on maksimitehon käytöstä tuotetut tiedot.

### 4.3 Kapasiteetin ala- ja ylärajat

Ramppi-, veto- ja noutotehon alarajan määrittely on järkevää tehdä vain kahdessa erikoistapauksessa. Ramppitehon alarajassa aluksen ja rampin välissä on kynnys, joten ramppinopeus tippuu alas. Kynnys muodostuu, mikäli alus ei kykene tasaamaan asentoon aluksen purkauksen ja lastauksen aikana tai mikäli käytetään pelkkää peräporttipaikkaa, ei laiturin ramppia. Noutotehon alaraja tarkoittaa tasoa, jolla varastokentältä ei poistu riittävän nopeasti puoliperävaunuja ja aluksen purkaus täyttää varastokentän. Läpivirtauksen kapasiteettitarpeet eli vetomestareiden määrä ja kuljetusyrittysten autojen käyntikerrat ovat vähintään alarajan suuruiset. Ala- ja ylärajan määräytymistä on havainnollistettu kuvassa 24.



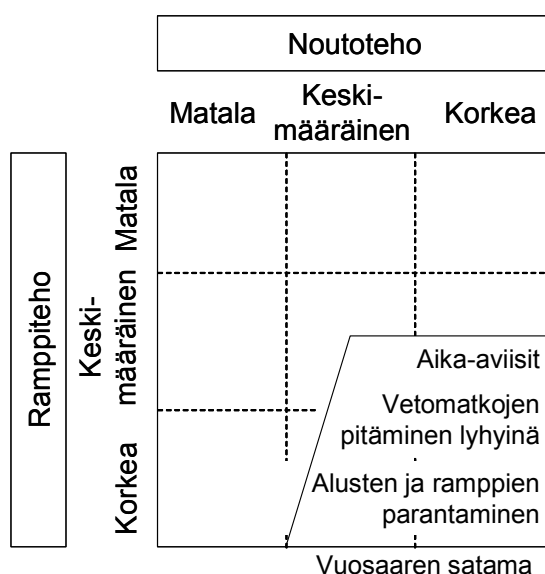
Kuva 24 Läpivirtauksen määräytyminen ramppi-, veto- ja noutotehon perusteella

Läpivirtauksen yläraja on tapauskohtainen. Vain noutoteholle voidaan määritellä selvä yläraja tilanteessa, jossa noutojen määrä on täsmälleen aluksesta ulos purkautuvien puoliperävaunujen määrä.

## 4.4 Satamaoperaattorin kapasiteettilisäykset

Satamaoperaattori on pyrkinyt parantamaan kapasiteettinsa käyttöä erilaisilla toimenpiteillä. Tutkimuksessa tunnistettuja toimenpiteitä olivat alusten lastaaminen, vetomestarien määrä ja käyttötapa, varastokentän käyttö, noutojen kehittäminen ja henkilöstön osaaminen. Satamaoperaattorin ramppitehoon ja noutotehoon tekemiä parannuksia on koottu kuvaan 25.

Tutkimuksen lähtöaineistossa suurimpana ongelmana pidettiin varastokentältä noutojen hitautta ja vetomestarin vetomatkojen pitenemistä. Satamaoperaattorin yhtenä tavoitteena on lyhentää vetomestareiden vetomatkoja yhteistyössä kuljetusyriyten kanssa. Alukset pyritään purkamaan lähinnä alusta oleville varastokentän riveihin.



Kuva 25 Vuosaaren sataman ramppitehon ja noutotehon parannukset

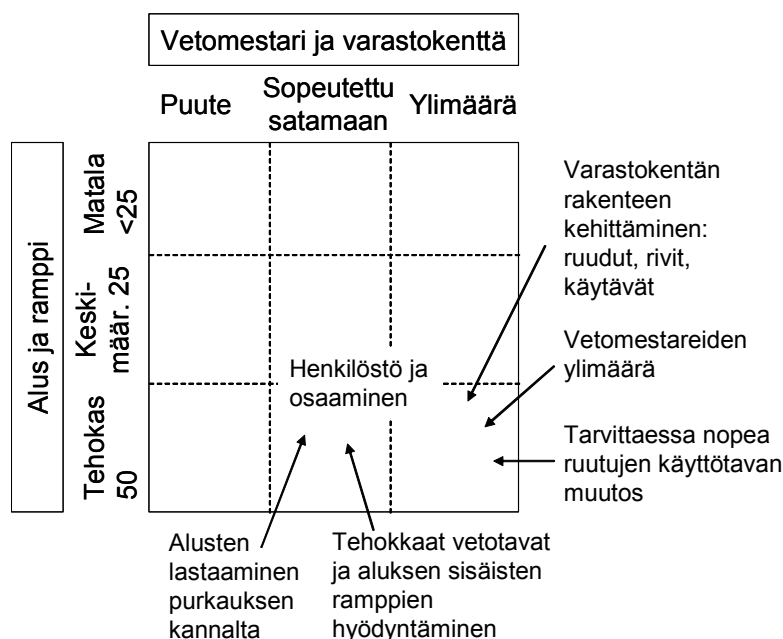
Kuljetusliikkeen noutoihin varastokentältä liittyy merkittävää epävarmuutta ja satamaoperaattori kehittää kuljetusyriyten noutoja. Satamaoperaattori pyrkii ohjaamaan kuljetusliikettä toimimaan aluksen purkaukseen sopivalla nopeudella. Liitteen 3 prosessivaiheen 1.3 kuvaama aika-avisointi on tarkentunut noin +/-15 minuutin tarkkuudella purkamisajankohdasta ilmoitetuksi. Purkausajankohtien ennustettavuus on 98 %. Mikäli noutoja ei ohjattaisi, kun käytävillä on samanaikaisesti



puoliperävaunuja noutavia autoja ja ruutuun uusia yksiköitä pudottavia vetomestareita, käytävät ruuhkaantuvat ja prosessit hidastuvat. Käytävien ruuhkautumisen merkitystä ja noutoihin aiheutuvia viipeitä eri ohjaustavoilla on arvioitu liitteissä 4 kohdassa 4.2.4.

Ajomatkat aluksen kansien, rampin ja varastokentän ruutujen välillä ovat suurin yksittäinen vetotehoon vaikuttava tekijä. Esimerkiksi aluksen samanaikainen purkaus ja lastaaminen vähentävät vetomestarin tyhjääajoa ja pienentävät kuormitushuippuja. Tehokkainta toimintatapa on, mikäli osa reitistä voidaan ajaa kaksoisrampilla ja aluksen sisäisillä kansirampeilla.

Satamaoperaattorilla on 61 vetomestaria. Aluksessa on lähes aina enemmän vetomestareita kuin mitä tehokas kapasiteetti edellyttäisi, joten vetomestareiden kapasiteetin joustavuus on hyvin korkea. Vetomestareita varataan alusten purkamiseen riittävä määrä, jotta vetomestareiden kapasiteetti joustaa yllättäviinkin tilanteisiin. Ylimäärällä selvitetään purkauksen ongelmat. Vetomestarien määrää ei voi kasvattaa alusten purkauksessa, koska kannella ei ole työskentelyä varten ylimääräistä tilaa. Vetotehon parannuksen on koottu kuvaan 26.



*Kuva 26 Vuosaaren sataman vetotehoon vaikuttavat parannukset*

Tutkimuksessa ei tunnistettu toimenpiteitä, jotka olisivat merkittävästi parantaneet maksimikapasiteetin käyttöä. Maksimikapasiteettia on käsitelty liitteissä kohdassa 4.4. Työvuorot on ilmoitettava ennen kuin alusten lastaustiedot ovat saatavilla, joten tarvetta maksimitehon käyttämiseen ja maksimitehoon perustuvaa työvuorojen suunnittelua ei voida toteuttaa. Maksimitehon käyttöä maanantaiaamun purkauksessa vaikeuttaa viikonloppuna purettujen kuormien varaamat ruudut alusten läheltä. Varastokentän käytäville aiheutuu ruuhkaa, prosessit hidastuvat ja maksimitehon käyttö estyy.

Työvoiman ja koneiden monikäyttöisyyttä lisätään. Henkilökunta on koulutettu toimimaan erilaisissa alusten purkamisen tehtävissä kuten vetomestarina, näyttömiehenä ja jalkamiehenä lastin kiinnittämisessä. Henkilökunnan ja koneiden käyttöä ohjataan pullonkaulojen mukaisesti.

Suurimmat kapasiteettia tasaavat toimenpiteet voivat tulevaisuudessa olla vastasataman päässä alusten lastauksessa. Alusten lastaaminen purkauksen mukaisesti mahdollistaisi tukkukaupan jakelurunkoihin menevien kuormien vetämisen ulos ensimmäisenä ja muun aluksen purkausta voitaisiin hidastaa. Tämä toimintatapa edellyttäisi huomattavasti nykyistä integroituneempaa toimintaympäristöä.

Kapasiteetti on nykyisin mitoitettu logistiikan viiden päivän työviikolle. Kapasiteettihuippu on maanantaina, kun satamaoperaattori purkaa ja lastaa maanantain kuormia, ja samanaikaisesti varastokentältä noudetaan lauantain, sunnuntain ja maanantain kuormia.

Logistiikan siirtyminen 7 päivän työviikkoon pienentää sataman kokovaatimuksia, mikäli kuljetusyritykset noutavat lauantaina ja sunnuntaina puretut puoliperävaunut saman päivän aikana (Takanen, 2010). Tällöin satamanpitäjä ja satamaoperaattori sopeuttavat infrastruktuurin, koneet ja laitteet nykyistä pienemmälle viikoittaiselle kapasiteettitarpeen vaihtelulle. Tämä vähentää kapasiteetin joustovaraa, jota edellytetään poikkeuksellisissa tilanteissa.

Satamaoperaattorin käsittelyajalle käytetään useita mittareita, jotka ilmoittavat joko prosessin tahtiajan tai kapasiteettiryhmän läpivirtauksen. Prosessin tahtiaika on esimerkiksi rampin ylitys kahden minuutin välein, kapasiteettiryhmän läpivirtaus on esimerkiksi ramppiteho kuljetusyksikköjen määränä tunnissa. Vetoteho on vetomestarin tuottaman läpivirtauksen osuus edellisistä eli vetojen määrä tunnissa.

#### **4.5 Mallintamatta jätetyt parametrit**

Satamaoperaattorin malliin sisältyy parametreja, joista ei tiedetä riittävästi. Esimerkiksi vetomestarin vetonopeutta ei ole selvitetty tarkalla tasolla. Vetomestareiden ajonopeuteen vaikuttavia muuttujia on useita. Satamaoperaattorin varastokentällä täydessä vauhdissa mittaama keskimääräinen ajonopeus on ollut 28 km/h ja aluksen sisällä 8 km/h. Lukuihin eivät sisälly kiihdyttämiseen ja jarruttamiseen käytetty aika. Lyhyillä vetomatkoilla vetomestari ei ehdi nostaa nopeuttaan. Kaksoisrampin ylärampilla yli 100 m pituisella matkalla ajonopeus ei nouse yhtä korkealle kuin varastokentällä. Raskaita puoliperävaunuja vedetään hitaammin kuin kevyitä. Käytävien ruuhkaantuminen hidastaa ajonopeutta. Pysähtyminen rampin jälkeen veivaamaan puoliperävaunun jalat alas pudottaa ajonopeutta. Vetomestarin vetokyky vaikuttaa kiihtyvyyteen ja ajonopeuteen lykyillä matkoilla. Mallissa on käytetty vetonopeutena aluksen sisällä ilman lastia 8 km/h. Aluksen sisällä lastia vetäen vetonopeutena on käytetty 4 km/h. Varastokentällä vetonopeus lastia vetäen on 8 km/h ja ilman lastia 16 km/h.

Toinen mallintamatta jätetty parametri on noutoprofiili. Kuljetusyrietykset saapuvat noutamaan aamun ensimmäisiä kuormia heti purkauksen alettua. Tällöin noutoja voi olla jonkin aikaan lähes 100 % ja vetomestareiden vetomatkat pysyvät lyhyinä. Kun kuljetusyrietykset lähtevät vetämään ensimmäisiä kuormia asiakkaille, vetoprofiili muuttuu. Jotta noutoprofiili voitaisiin mallintaa, todennäköisesti tarvittaisiin tietoa kuljetusyrietyksen autojen määrästä, noudettavista eristä yhtä autoa kohti ja vetomatkoista asiakkaille. Tästä syystä noutoihin käytetään

keskimääräistä lukua koko purkauksen ajalta eli 55 % puretuista puoliperävaunuista noudetaan purkauksen kestäessä. Tätä lukua ei voi käyttää suoraan mihinkään muuhun satamaan, mikäli Vuosaaren sataman aluskäynnit siirretään purettaviksi korvaavassa satamassa. Kun vetomatkat asiakkaille muuttuvat, noutoprofiili muuttuu, samoin autojen lukumäärä ja erien määrä autoa kohti. Noutoprofiiliin vaikuttaa myös samanaikaisesti useammassa aluksessa tulleiden lastien noutaminen varastokentältä, kun liikenne käytävillä lisääntyy.

Kolmas mallintamatta jätetty parametri on aluksen purkaukseen varattujen käytävien määrän vaikutus liikennöintiin varastokentällä. Noutoprofiilista voitaisiin laskea keskimäärin käytävällä liikennöivien autojen lukumäärä ja varastokentän käytävien ruuhkautuminen.

Neljäs mallintamatta jätetty parametri on maksimitehon käyttö. Maksimiteho on suurin toteutuva vetoteho silloin kun vetomatkat ovat lyhyitä ja ruuhkat eivät hidasta vetomestareiden töitä. Vetomestarien ajonopeus, noutoprofiili ja ruuhkautuminen käytävillä vaikuttavat kaikki maksimitehon käyttömahdollisuuksiin. Maksimiteho on esitelty liitteessä 4.4.

## **4.6 Tuotettu malli**

### **4.6.1 Mallin kuvaus**

Mallin tarkoituksena on selvittää liikennemäärien kasvusta aiheutuvat muutokset sataman läpivirtaukselle ja kapasiteettitarpeisiin. Läpivirtausta rajoittaa sataman infrastruktuuri ja satamaoperaattorin kapasiteetti.

Mallinnuksen päävaiheet ovat

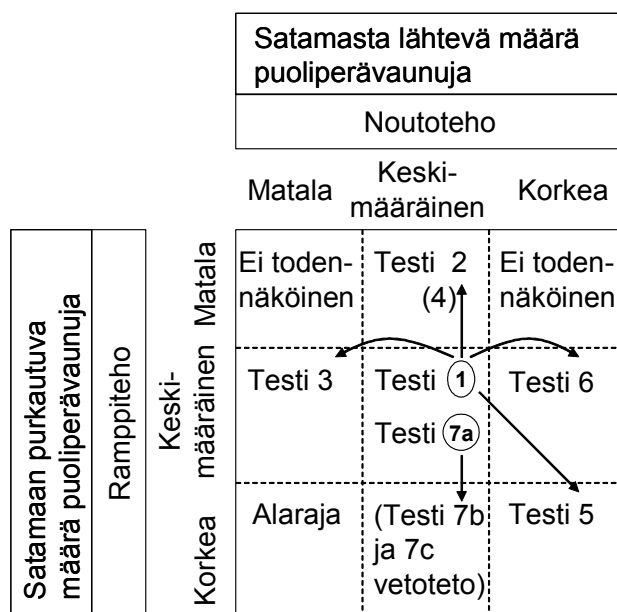
- Kasvatetaan lokakuun 2009 historiadataan perustuvia liikennemääriä lisäämällä alusten käyntikertoja ja nostamalla lastauskerrointa

- Mallinnetaan sataman infrastruktuurin ja satamaoperaattorin rakenne sisältäen puoliperävaunujen purkaukseen liittyvät osat.
- Kuvataan testattavat tapahtumat, joilla mallin osien elementit osallistuvat skenaarioon
- Toteutetaan testit, haetaan sataman infrastruktuurin ja satamaoperaattorin kapasiteetin yläraja ja alaraja ja pullonkaulat ja arvioidaan kapasiteettilisäysten vaikutuksia

Malli toteutetaan kahdella vaihtoehdolla, joita ovat Helsingin Sataman Vuosaaren satamanosan satamaoperaattorin mallintaminen ja Turun sataman Pansion satamanosan vertailu Vuosaaren sataman tuloksiin. Tuloksena saadaan tilanteet, joiden jälkeen Vuosaaren sataman infrastruktuurin ja satamaoperaattorin kapasiteetti eivät jousta alusten purkamiseen kello 11.00 mennessä.

Mallin tuloksia ovat lähtötiedot, suunnitellut testit ja testien tulokset. Tulosten perusteella tarkistetaan, mikä osa Vuosaaren sataman liikenteestä voitaisiin siirtää kulkemaan Turun sataman Pansion satamanosan kautta. Turun sataman Pansion satamanosasta selvitetään, mitä testiä satamanosa muistuttaa. Liitteessä 1.3 – 1.6 on koottu tiedot ja skenaario Turun sataman tilanteesta, mikäli Vuosaaren sataman liikenne siirrettäisiin kulkemaan Turun sataman kautta. Skenaario perustuu vuosina 2007 - 2009 Huoltovarmuuskeskuksessa työkokouksissa käytyihin keskusteluihin.

Mallin testaaminen perustuu sataman läpivirtausta heikentävien tapahtumisen ja muutoksen suuruuden testaamiseen. Testattavilla tapauksilla katetaan ramppi- ja noutotehon yhdistelmät kuvan 27 mukaisesti. Testattavat kapasiteettilisäykset vaikuttavat tunnistettuihin ongelmiin tarvittavan ja saatavilla olevan kapasiteetin välillä.



*Kuva 27 Sataman läpivirtausta heikentävien tapahtumien sekä ramppi- ja noutotehon testaaminen*

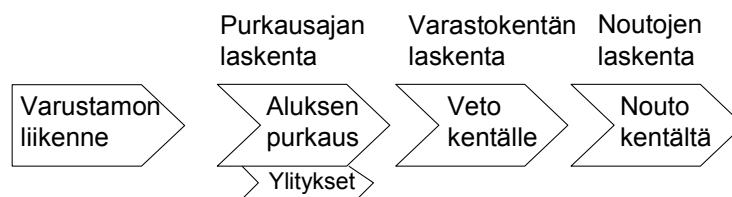
Mallilla testattavia tilanteita ovat

- Testi 1: viikolle 10 tuotetun lähtötilanteen laskelmat, jotka kattavat jokaiselle viikonpäivälle kokoluokan 4216 kaistametriä aluksen kuljetusyksiköt, purkausajan ja kapasiteettitarpeet; liikennemäärät ja kapasiteettitarpeet yhteensä viikonpäivittäin; sataman infrastruktuurin laskelmat ramppinopeuden ja varastokentän osalta; noutotehon ja sataman läpivirtauksen
- Edellistä nimitetään jatkossa perustapaukseksi, josta tarkistetaan erot viikonpäivien välillä
- Testi 2: heikennetään perustapauksen ramppitehoa, kunnes saavutetaan alaraja, jossa perustapausta ei saa purettua 10 tunnin aikana, sataman aukioloajan toinen 10 tuntia varataan aluksen lastaukseen
- Testi 3: hidastetaan noutotehoa, kunnes perustapauksen varastokenttä tukkeutuu

- Testi 4: heikennetään vetotehoa ja arvioidaan vaikutuksia
- Testi 5: vaihdetaan ropax-aluksilla kuljetettavat puoliperävaunut kuorma-autoiksi ja todetaan ramppitehon muutos. Tämä asettaa sataman infrastruktuurille ylärajan.
- Testi 6: kasvatetaan noutotehoa ja arvioidaan vaikutuksia
- Testi 7a: vaihdetaan ropax-aluksilla kuljetettavat kuorma-autot puoliperävaunuiksi. Kuljetusyksikön pituus lyhenee, joten vapautuneeseen tilaan lastataan lisää puoliperävaunuja. Selvitetään, paljonko purkausaika ylittyy.
- Testi 7b: selvitetään vetoteho, jolla koko alus pystytään purkamaan kello 11.00 mennessä.
- Testi 7c: Maksimitehoa esiintyy aina lyhyitä aikoja, kun vetomestarit työskentelevät pääkannella. Lopuksi selvitetäänkin, mikä maksimitehon pitäisi olla pääkannella työskenneltäessä.

#### 4.6.2 Mallin rakenne

Mallin osia ovat varustamon liikenne, sataman infrastruktuuri, satamaoperaattori ja noudot. Laskennan eteneminen on havainnollistettu kuvassa 28.



*Kuva 28 Laskennan eteneminen tuotetussa laskentamallissa*

Skenaariossa aluksille lasketaan purkausaika ja tarkistetaan purkausajan ylitys. Kuljetusyksiköille varataan ruudut varastokentältä. Aluksille varataan tarvittava määrä vetomestareita. Tahtiajan 2 perusteella lasketaan varastokentän täyttymisnopeus.

Lähtötietoja ovat

- Liikennemäärät, jotka on kuvattu kohdassa 3.1.5 ja taulukossa 26. Varustamon liikenteen elementtejä ovat alukset ja aluskäynnit. Elementit ja parametrit on koottu liitteeseen 1 taulukkoon 27. Varustamon liikenteen muuttujia ovat aluskäyntien määrä vuorokaudessa ja aluksilla kuljetettujen kuljetusyksiköiden määrä. Varustamon liikenteen muuttujat on koottu liitteeseen 1 taulukkoon 28.
- Sataman infrastruktuuri, joka on kuvattu kohdassa 3.2.6 ja 3.2.7. Sataman infrastruktuurista on kuva 19. Saman infrastruktuurin ja satamaoperaattorin rajapinnasta on kuva 23. Sataman infrastruktuurin elementit ja parametrit on koottu liitteeseen 1 taulukkoon 29 ja muuttujat taulukkoon 30.
- Mallinnettava tilanne ja satamaoperaattorin kapasiteetti, jotka on kuvattu kohdassa 4.4. Satamaoperaattorin prosesseja on kuvattu tarkemmin kuvassa 21 ja liitteessä 2. Satamaoperaattorin elementit, parametrit ja muuttujat on koottu liitteeseen 1 taulukkoihin 31 ja 32.

Varastokentältä varattiin tuontia ja vientiä varten erillisiä alueita. Varastokentän 1080 ruutua jaettiin kahtia, eli tuontia varten voidaan osoittaa 540 ruutua.

#### 4.6.3 Testattavat liikennemäärät

Kuljetusmääriä kasvatetaan kasvattamalla lastauskerrointa ja lisäämällä aluskäyntejä. Lastauskerroin saavuttaa arvon 100 % viikon 10 jälkeen. Taulukko 4 esittää liikennemäärien muutoksen.



*Taulukko 4 Tilanne liikennemäärien kasvattamisen jälkeen*

Aluskoko kaistametriä	Käyntikerrat viikossa ja lastauskerroin
4216	8 x 100 %
	2 x 50 %
1890 – 2606	8 x 100 %, 5500 kaistametriä
Liikennemäärän lisäys yhteensä, kun täyttöaste on 100 %	107 kuorma-autoa ja 250 puoliperävaunua
Aluskäyntikertojen määrä lisääntyi 4 x 2606	4 x 100 %, yhteensä 676 puoliperävaunua

Yhteensä liikennemääriä kasvatetaan 50 % verrattuna lähtötilanteeseen lokakuussa 2009. Lähtötilanteessa kuljetusyksiköitä oli viikossa 2040 kappaletta, lisäys oli 1030 kappaletta ja lopputilanteessa kuljetettiin 3070 kappaletta.

Sataman läpivirtausta seurataan aluskäynteinä, kaistametreinä ja kuljetusyksikköinä. Satamaan tuli samanaikaisesti purettavaksi aluksia kaksoisrampeille ja maarampeille. Purettavat alukset ja ramppitehon perusteella laskettu läpivirtaus on koottu taulukkoon 5.

*Taulukko 5 Testissä 1 purettavat aluskäynnit ja kuljetusyksiköt*

Päivä	Aluskäyntejä	Kaistametrejä	Kuorma-autoja yhteensä	Puoli-perävaunuja yhteensä
Maanantai	2 x 4216	8432	92	561
	2606	2606		
	3200	3200		
Tiistai	4216	4216	42	443
	2606	2606		
	1890	1890		
	1690	1690		
Keskiviikko	4216	4216	73	307
	2606	2606		
Torstai	2 x 4216	8432	59	552
	2606	2606		
Perjantai	4216	4216	56	330
	2606	2606		
Lauantai	2 x 4216	6324	77	384
	2606	2606		
Sunnuntai	4216	2108	60	275

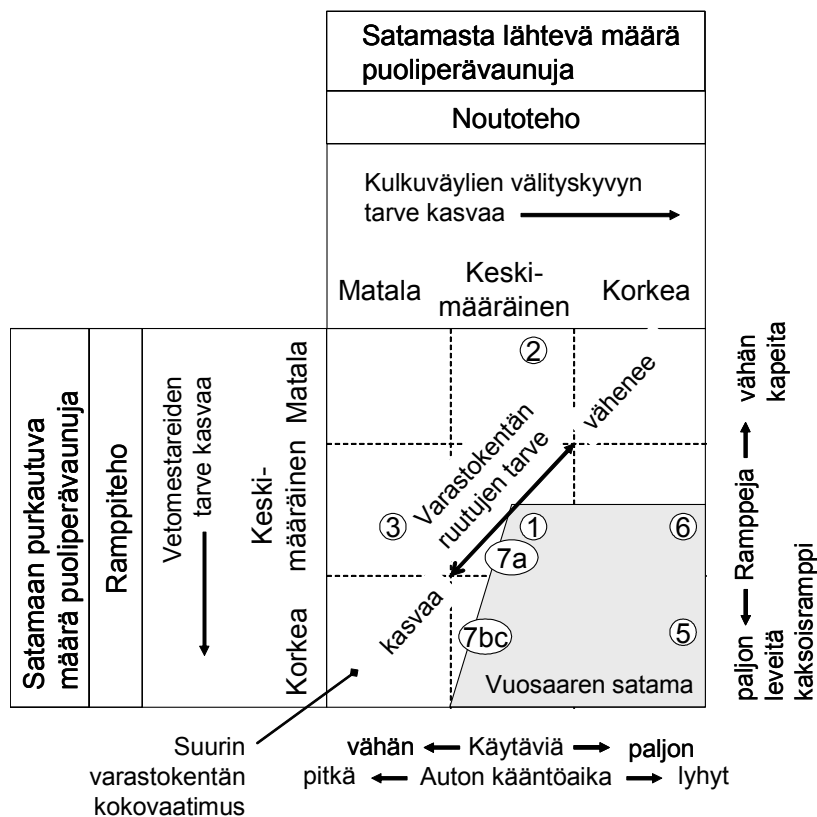
	2606	2606		
	1690	1690		
Yhteensä	21	64656		

Aluskäynneistä seurataan toteutuvaa purkausaikaa kuljetusyksiköittäin ja koko alukselle yhteensä. Lisäksi aluskäynneille seurataan käytettyjä varastokentän ruutuja ja vetomestareiden tarvetta. Kaikkien aluskäyntien osalta seurataan, kuinka nopeasti varastokenttä uhkaa tukkeutua alusten purkauksessa.

Seurattavat mittarit on koottu taulukkoon 33.

#### 4.6.4 Testien tulokset

Testit 2 ja 3 selvittivät ramppitehon ja noutotehon alarajaa. Testit 5 ja 6 selvittivät ramppitehon ja noutotehon ylärajaa. Testit 7a – 7c selvittivät vetomestarin kuormituksen ylärajaa. Testien on havainnollistettu kuvassa 29 ja testien tulokset on koottu liitteisiin.



Kuva 29 Testeissä havaitut vaikutukset ramppitehoon ja noutotehoon

Testissä 5 kuorma-autojen osuuden kasvattaminen lisää varastokentän, rampin ja vetomestarin joustovaraa, mutta vähentää väylien joustovaraa. Lisää alusten purkauksesta laskettua sataman läpivirtausta. Testissä 6 noutotehon kasvattaminen lisää varastokentän joustovaraa, mutta vähentää väylien joustovaraa. Haastattelun perusteella lisää vetomestarien joustovaraa. Lisää noudoista laskettua sataman läpivirtausta.

Testissä 2 ramppitehon hidastamisen jälkeen välivarastoinnin tarve vähenee. Tällöin noutotehon lisäys muuttaisi terminaalin läpivirtaustermiinaaliksi. Testissä 3 noutotehon hidastumisen jälkeen ramppitehon pudotus estäisi varastokentän täyttymisen. Testien tulokset on tiivistetty taulukkoon 6.

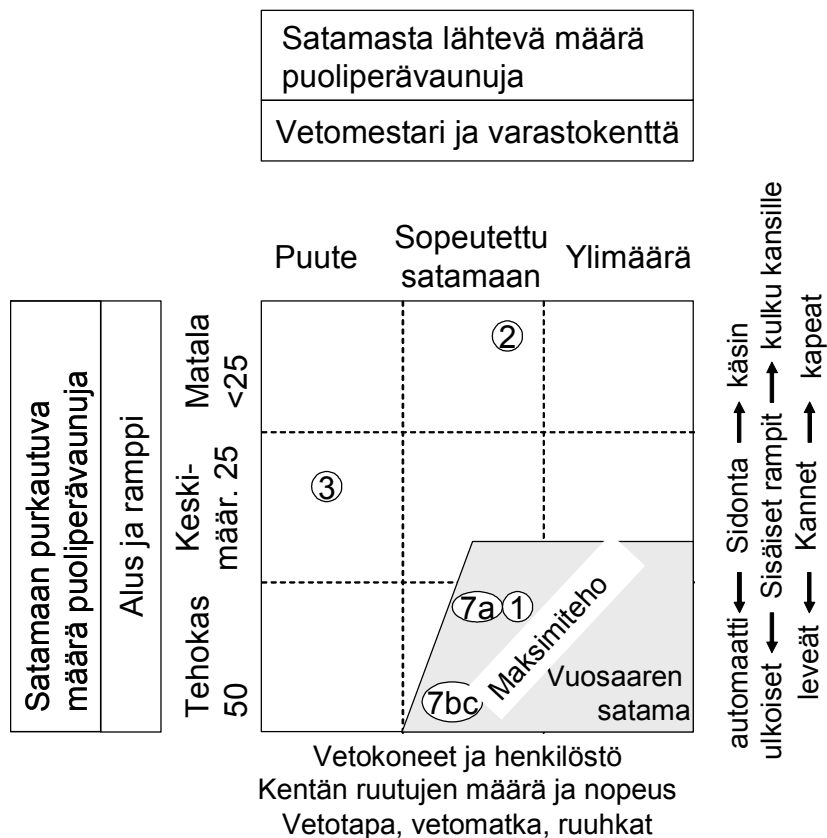
*Taulukko 6 Testien 1 - 7 tulokset*

Testi	Tulos
1	Nykyinen tilanne, mutta liikennemäärät kasvavat. Lauantaina ja sunnuntaina on noudettava vähintään kolmasosa kuormista, jotta varastokenttä ei tukkeudu maanantaina. Noudot vähentävät varastokentän täyttymisen puoleen.
2	Aluksen purkausaikaa pidennetään 10 tuntiin. Ramppitehon aleneminen 22 vetoon tunnissa pidentää purkausajan yli 10 tunnin, vetomestarin vetoteho laskisi puoleen eli 2,9 vetoa tunnissa.
3	Noutotehon putoaminen maanantaina 27 prosenttiin täyttää varastokentän puolikkaan 3,5 tunnin aikana. Muina päivinä vasta noutotehon hidastuminen 1 – 7 prosenttiin täyttää varastokentän. Maanantain kuormia ei päästäisi purkamaan. Todennäköisesti noutoteho hidastuu ja vetoteho heikkenee, kenttä ei tukkeudu, mutta purkausaika pitenee edelleen.
4	Vetotehon heikkenemisen vaikutukset arvioidaan testissä 2. Suuri muutos ylöspäin on hetkellinen, eikä maksimitehoa voida ylläpitää pitkiä aikoja vain vetotehoa parantamalla.
5	Puoliperävaunut vaihdetaan kuorma-autoiksi. Kuljetusyksikön pituus ja purkausnopeus kasvaa. Aluskokoa on kasvatettava, jos kuljetettava määrä pysyy ennallaan. Satamaoperaattorin kuormitus vähenee tai poistuu. Kuljetusyritysten ei tarvitse noutaa kuljetusyksiköitä. Ramppiteho on lähes yhtä suuri kuin kulkuväylien välityskyky.
6	Noutotehon kasvu vähentää varastokentän ruutujen tarvetta paljon. Vaikutuksia vetomatkan lyhenemiseen, vetotehoon ja aluksen purkauksen lyhenemiseen ei päästy arvioimaan.

7	Kuorma-autot vaihdettiin puoliperävaunuiksi. Purkausaika ylittyi ja ramppitehon tehostumistarpeeksi laskettiin 23 – 35 %. Kaksoisrampin ramppitehon tulisi kasvaa 67 – 69 vetoon tunnissa ja vetotehon 7,6 vetoon tunnissa. Maarampin ramppitehon tulisi kasvaa 39 vetoon tunnissa ja vetotehon 7,9 vetoon tunnissa. Vain pääkansille laskettuna 136 vetoa tunnissa, jos muut kannet vedetään 50 vedolla tunnissa.
---	--

Johtopäätöksenä on, että valitsemalla kuljetusyksiköksi riittävä määrä kuorma-autoja Vuosaaren sataman kapasiteetti joustaa ylöspäin kaikissa tilanteissa ja purkauksen nopeusvaatimukset täyttyvät aina. Tällä vaihtoehdolla yhden rampin kautta voidaan purkaa useita aluksia. Valitsemalla kuljetusyksiköksi ainoastaan puoliperävaunuja Vuosaaren sataman rampit ja varastokentät rajoittavat läpivirtaavaa liikennettä.

Testissä 7 kasvatettiin maksimitehon tarvetta voimakkaasti, jotta maksimitehon laskentatapa saataisiin esiin. Vetotehon parantamista on testattu kuvan 30 mukaisesti.



Kuva 30 Testi 7 vetotehon parantaminen

Maksimitehon käyttö aiheuttaa suuria vaatimuksia satamaoperaattorille. Haastattelun perusteella voitaneen todeta, että maksimitehon ylläpitäminen on nykyisillä toimenpiteillä haasteellista ja maksimiteho on herkkä häiriöille. Maksimitehon käyttö vähentää rampin, varastokentän, noutojen ja kulkuväylien joustavuutta, jos alus on purettava kello 11.00 mennessä.

#### 4.6.5 Sataman läpivirtauksen yläraja ja nykyinen kapasiteetti

Vuosaaren sataman läpivirtaus voidaan mitata joko alusten purkauksesta tai noudoista varastokentältä. Mikäli läpivirtaus ilmoitetaan sataman aukioloajalle, eroja eri mittaustapojen välillä ei ole. Mikäli läpivirtaus ilmoitetaan alusten purkauksen ja lastauksen eri vaiheille, läpivirtauksen mittauksessa käytetty mittaustapa tuottaa eroja.

Alusten purkauksesta ilmoitettu läpivirtaus on suurin, kun alukset purkavat kuorma-autoja. Kuorma-autojen purkauksen aikana ramppiteho on lähes yhtä suuri kuin operaattorin kulkuväylien ja portin välityskyky. Sataman ulosmenoväylien välityskyky on laskennallisesti vielä tätä suurempi. Siten kulkuväylät eivät muodosta ongelmia kapasiteetin käytölle. Kuorma-autoja purettaessa varastokentän välityskykyä ja satamaoperaattorin vetomestareiden vetokykyä ei sisällytetä mukaan laskelmiin. Läpivirtaus määräytyy ramppitehon perusteella.

Koska kuorma-autojen purkausaika pysyy lyhyenä, yhdeltä laituripaikan rampilta ehditään sataman aukioloaikana purkaa tai lastata useita aluksia. Normaalisti yhdeltä rampilta puretaan ja lastataan päivässä yksi alus, kun suuri osa lastista on puoliperävaunuja ja purkauksen on valmistuttava kello 11.00 mennessä.

Alusten purkauksesta lasketulla läpivirtauksella on yläraja, kun aluksista puretaan puoliperävaunuja ja purkauksen on valmistuttava kello 11.00 mennessä. Aluksen purkauksesta laskettu sataman läpivirtaus on ramppitehon mukainen, kun maksimitehon käyttöä ei oteta mukaan arvioihin. Mikäli sataman läpivirtaus lasketaan vetomestarin vetotehosta,

läpivirtaus on aluksen purkauksen alkuvaiheessa keskimäärin korkeampi kuin koko aluksen purkauksen ajalle laskettu keskimääräinen ramppiteho. Läpivirtaus on aluksen purkauksen loppuvaiheessa vastaavasti matalampi ja laskee myös tilanteissa, joissa varastokenttä ruuhkaantuu tai vedettävänä on hitaammin käsiteltäviä kuljetusyksiköitä.

Noutoteholla on suuri vaikutus aluksen purkauksesta laskettuun sataman läpivirtaukseen. Noutoteho voi puolittaa varastokentän täyttymisen purkauksen aikana ja lyhentää keskimääräiset vetomatkat puoleen, mikäli purkaukseen käytettävä varastokenttä alkaa välittömästi aluksen rampin läheisyydestä. Mitä enemmän puoliperävaunuista noudetaan aluksen purkauksen aikana, sitä pidemmän aikaa vetomestarit kykenevät vetämään koko aluksen purkauksen ajalta mitattua keskimääräistä vetotehoa nopeammin. Maksimitehon heikkoutena on varastokentän käytävien ruuhkautuminen ja vetotehon heikkeneminen, mikäli noutotehot eivät toteudu suunnitellulla tavalla ja noutoihin muodostuu jonoja. Jonojen muodostuminen hidastaa sataman läpivirtausta.

Varastokentältä noudoista mitattu sataman läpivirtaus noudattaa satamaoperaattorin mittaamaa noutoprofiilia. Sataman läpivirtausta ei ilmoiteta tässä tutkimuksessa noutoprofiilin tarkkuudella. Varastokentältä noudoista mitattu sataman läpivirtaus on normaalisti 55 % aluksen purkauksen aikana ja 37 % kello 18.00 mennessä. Loput 8 % noudetaan myöhemmin tai seuraavana päivänä. Maanantai on poikkeus, koska silloin noudetaan lauantain, sunnuntain ja maanantain kuormat.

Sataman nykyinen kapasiteetti on mitoitettu sataman nykyisille liikennemäärille, kun alusten purkamiseen on käytettävissä neljä tuntia. Satamassa voidaan kello 11.00 mennessä purkaa neljä aluskäyntiä ja yhteensä ramppiteholla laskettuna 600 puoliperävaunua. Sataman varastokentät ja kulkuväylät on mitoitettu suuremmalle määrälle, mutta samanaikaisesti noutojen oletetaan estävän varastokentän täyttymisen. Myös satamaoperaattorin vetomestareiden määrä on mitoitettu suuremmalle määrälle.

Testeissä voitiin todeta, että sataman ramppitehon ja noutotehon tulisi pienentyä merkittävästi, ennen kuin sataman läpivirtaukseen muodostuu ongelmia. Muutokset olivat niin suuria, että niitä ei esiinny normaalioloissa. Muutokset ovat mahdollisia, mikäli ramppien, varastokentän ruutujen ja kulkuväylien käyttö estyy.

Kun liikennemäärät kasvavat, vetomestareiden vetotehon merkitys lisääntyy. Vetomestareita on runsaasti, mutta alukseen mahtuu kerralla työskentelemään vain rajallinen määrä vetomestareita. Vetotavan muutoksilla, varastokentän käyttötavan muutoksilla ja varastokentän ruutujen ja käytävien muodolla on vaikutusta vetomestareiden työskentelyn nopeuteen.

Laskennallisesti selvitettiin, kuinka suuri muutos olisi mahdollinen vetomestarin vetotehoon, kun ramppi on vetotehon tekninen rajoite. Mikäli alusten täyttöasteen nousevat ja alukset on purettava kello 11.00 mennessä, maksimitehon käytölle asetetaan suuria haasteita. Pelkästään maksimitehoa käyttämällä satama ei pysty ylläpitämään tarvittavaa läpivirtausta, vaan läpivirtausaika pitenee. Tällöin on kehitettävä sekä ramppi- että noutotehoa, jotta maksimitehon käyttöaika saadaan pidettyä mahdollisimman pitkänä.

Saadut tulokset perustuvat satamaoperaattorin mittaamiin lähtötietoihin, jotka on ilmoitettu suullisesti ja näytetty tilastona haastattelujen yhteydessä. Haastattelemalla kerättiin tietoa lähtötietoihin vaikuttavista tekijöistä. Testeissä kokeiltiin laskennallisesti, miten suuria muutoksia lähtötietoihin aiheutuu. Lähtötiedot on koottu liitteeseen 1. Testit on koottu liitteeseen 2. Haastatteluista saadut tiedot ja niiden perusteella tuotetut laskelmat ja arviot on koottu liitteisiin 3 ja 4.

Vuosaaren sataman läpivirtaus eli kapasiteetin yläraja nykyisillä lastirakenteilla ja purkauksen nopeusvaatimuksilla kello 11.00 mennessä on koottu taulukkoon 7. Tässä vaihtoehdossa alusten saapumista ei ole porrastettu, vaan kaikki alukset puretaan samanaikaisesti.

*Taulukko 7 Vuosaaren sataman läpivirtaus*

Kapasiteetti	Läpivirtaus vuorokaudessa
Aluksia	Neljä, 11.000 kaistametriä, noin 100 kuorma-autoa ja 500 – 500 puoliperävaunua
Rampit	Tunnissa 600 kuorma-autoa tai 150 puoliperävaunut
Varastokenttä	1080 paikkaa, kuormitus suurin maanantaiaamuisin
Vetomestari	61 vetomestaria, joista 50 % käytetään alusten purkamiseen ja 50 % muihin varastokentän töihin.
Kulkuväylät	Yli 600 kuorma-autoa tunnissa

#### 4.6.6 Tunnistetut pullonkaulat ja tarvittavat kapasiteettilisäykset

Pullonkaulat heikentävät sataman läpivirtausta. Pullonkaula voi muodostua aluksen purkaukseen, vetoihin varastokentälle tai noutoihin varastokentältä. Mikäli ramppiteho on pullonkaula, purkauksesta mitattu läpivirtaus pienenee. Mikäli noutoteho on pullonkaula, sataman ulosmenoväyliltä mitattu läpivirtaus pienenee.

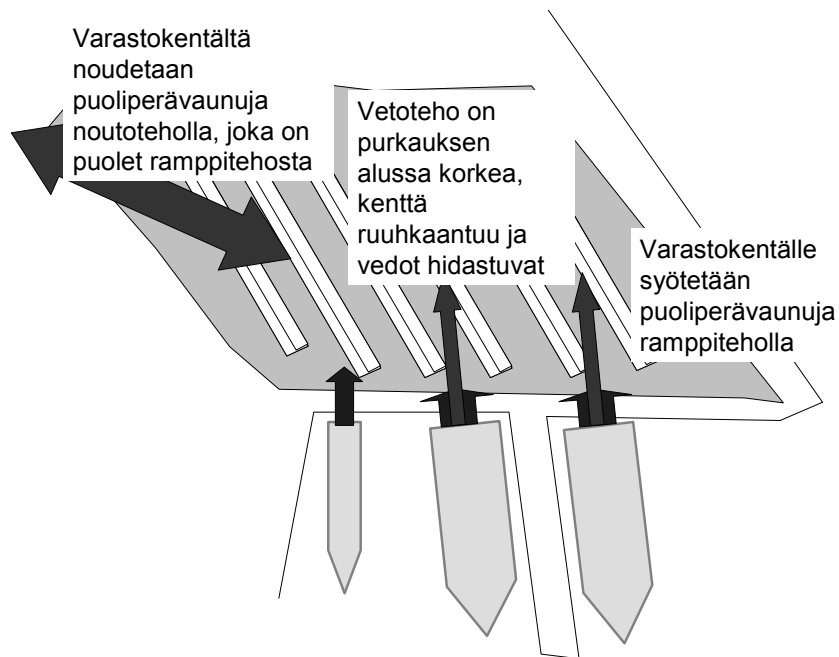
Vuosaaren sataman läpivirtausta heikentävät tilanteet, joissa satamaan saapuu hitaasti purettavia aluksia. Satama on suunniteltu nopeasti purettaville aluksille ja kaksoisrampin käytölle. Alusten tekninen taso tai alukset lastanneen vastasataman lastausvälineet voivat vaikeuttaa ja hidastaa aluksen purkausta. Näitä tilanteita on kuvattu taulukossa 14. Jos alukset on lisäksi lastattu aivan täyteen, purkaminen käynnistyy hitaasti, koska alusten kansille on ensin tyhjennettävä tilaa. Kun suurten 4216 kaistametrin alusten tyhjentäminen voi käynnistyä suurella tehokkuudella, hitaasti purettavien alusten ramppinopeus pysyy matalana koko purkauksen ajan. Tilannetta korjataan kohdistamalla aluksen purkuun normaalia enemmän henkilöstöä.

Vuosaaren satama on suunniteltu suurten alusten purkaukseen. Mikäli satamaan saapuu purettavaksi useita pieniä aluksia, laituri paikkoja ei ole vapaana riittävästi. Tarvittavaa määrää kaistakilometrejä ei ehditä lastaamaan ja purkamaan sataman aukioloaikana. Lisäksi sataman käyttötapa ei pysy suunniteltuna, koska useiden pienien alusten kuormia ei saada purettua kello 11.00 mennessä.



Jos satamaan saapuu useita aluksia ja purkausta ei porrasteta, satama ruuhkaantuu ja satamaoperaattori ylikuormittuu. Sataman varastokenttä, varastokentän käytävät ja operaattorin portilta puoliperävaunuja noutamaan saapuvat kuljetusyrietykset muodostavat pullonkaulan. Mikäli purkauksen nopeusvaatimuksesta kello 11.00 mennessä luovutaan, tilanne normalisoituu.

Noutoja kehitetään aika-avisoinnin mukaisiksi. Jos noudot nousevat lähelle 100 % ja jos varastokentän ruuhka johtuu jonoista, tarkempi ohjaus vähentää ruuhkia ja vetoteho pysyy korkealla. Jos jonot aiheutuvat varastokentän käytävien vähyydestä yhdelle alukselle varatulla varastokentän osalla, tilanne pahenee. Jos alusten täyttöasteet nousevat ja aluskäyntejä tulee lisää, ruuhkautuneista käytävistä tulee pullonkaula. Tilannetta on havainnollistettu kuvalla 31. Mikäli varastokentän täyttötapaa muutetaan, ruuhkat vähenevät. Keinoja on tarkasteltu liitteessä 4 kohdassa 4.2.4 ja 4.4.4.



*Kuva 31 Noutojen kehittäminen voi ruuhkauttaa varastokentän*

Aluksista purkautuvat puoliperävaunut jakautuvat ramppien ohjaamina varastokentän eri osiin. Liikennöinti aluksen purkaukseen varatun

varastokentän osan käytävillä toteutuu ramppiteholla 50 vetoa tunnissa eli noin 30 sekunnin välein vetomestari on menossa varastokentän lohkolle tai palaamassa rampille. Tavoitteena on, että kuljetusyrietykset noutavat puoliperävaunut mahdollisimman läheltä ramppia. Tällöin liikennöinti käytävillä kaksinkertaistuu.

Ramppitehon parantamiseksi tulee valita teknisesti kehittyneet alukset, vain vähän satamaoperaattoria kuormittavat kuljetusyksiköt ja lastata alukset purkauksen kannalta parhaalla tavalla.

Noutotehoa nostamalla vähenee varastokentän ruutujen tarve. Myös vetomatkat lyhenevät ja vetomestareiden kuormitus vähenee. Tämä muutos vaikuttaa kykyyn ylläpitää maksimitehoa, joten aluksen purkausaika lyhenee.

Haastatteluilla on selvitetty, että alusten lastaus purkauksen kannalta vähentää purkamisen nopeusvaatimuksia ja lisää kapasiteetin ylimäärää eli kapasiteettijoustavuutta. Haastatteleamalla selvitetty ja vetomestarin kapasiteettijoustavuutta lisäävä tekijä on varastokentän käytävien riittävä määrä ja käytävien leveys. Toimenpiteet vähentävät käytävien ruuhkautumista ja parantavat vetotehoa.

Sataman kapasiteettijoustavuutta vähentää vaatimus purkauksen valmistumisesta kello 11.00 mennessä. Joustoa lisätään käyttämällä aluksen purkaukseen tarvetta suurempaa määrää vetomestareita.

Teorian mukaan pullonkaulan toimiessa maksimiteholla maksimitehoa ei voida ylläpitää pitkän aikaa, vaan kapasiteetti lähteen laskuun ja läpivirtausaika pitenee. Mikäli vetotehon ei olisi annettu muodostua pullonkaulaksi, ja lisääntyvään liikenteeseen olisi vastattu muuttamalla ramppitehoa tai noutotehoa, kapasiteetti olisi pysynyt pidempään korkeammalla.

Vetomestari käyttää koko kapasiteettijoustavuuksiaan, kun maksimiteho on käytössä. Maksimitehoa voidaan ylläpitää vain lyhyen aikaa, mikäli puoliperävaunujen purkamisen muita osia ei sopeuteta maksimaalisen

tehon käyttöön. Vetomestari voi ylläpitää maksimitehoa pitkänkin aikaa, mikäli muut tekijät tätä tukevat eli noudot ovat täsmällisesti aikaikkunassa, käytäviä on riittävä määrä ja käytävät eivät ruuhkaannu. Jos lisäksi varastokentän käyttötapaa voidaan ohjata tehokkaampaan suuntaan tilanteessa, jossa alukset ovat täynnä puoliperävaunuja, maksimikapasiteettia voidaan käyttää aluksen koko purkauksen ajan.

Yhteenvedona todetaan, että ramppitehosta tulee pullonkaula, jos alus tai aluksen lasti aiheuttavat ongelmia. Noutotehosta tulee pullonkaula, jos jonojen muodostumista ei voida estää. Vetotehosta tulee pullonkaula, jos alukset ovat vaikeasti purettavia tai satamaan saapuu perättäin useita pieniä aluksia ja purkauksen nopeusvaatimuksesta ei luovuta. Varastokentästä tai pikemminkin sen rakenteesta tulee pullonkaula, mikäli ramppiteho syöttää suuren määrän kuljetusyksiköitä ja noutoteho syöttää suuren määrän kuljetuksia noutavia autoja ja varastokentän rakenne ruuhkauttaa käytävät.

Prosessin kaikki osat on mitoitettu samalle tasolle ja prosessin oletetaan toimivan ennakoidulla tavalla. Vetomestareita on tarvetta enemmän, jotta joustovaralla voidaan korjata purkauksessa aiheutuvia ongelmia. Ramppitehon kapasiteettikatto on saavutettu, joten ramppitehoa voidaan lisätä vain vaihtamalla kuljetusyksiköt kuorma-autoiksi. Ramppiteho määrää verkoston kapasiteetin.

Vetomestareiden määrää ei kannata kasvattaa, koska vetomestareiden ylikapasiteetin kasvattaminen aiheuttaa vain käyttöasteen edelleen alenemisen.

Ramppitehoa ohjataan tarkalla tasolla. Vetotehoa ei tahdota muuttaa, jotta mitattu taso ei putoa. Noutotehoon ei voida suoraan vaikuttaa, mutta noutamaan saapuvia autoja joudutaan säätämään, kun käytävät ruuhkaantuvat. Varastokentän käytäviä ei ohjata tarkalla tasolla ja niihin ei ole varattavissa kapasiteetin ylimäärää. Mikäli käytävien määrää voitaisiin kasvattaa ja niissä olisi kapasiteetin ylimäärää, kokonaisjärjestelmä säilyttäisi paremmin joustavuutensa. Tällöin myös

vetomestarit voisivat käyttää pidempään maksimitehoa ja aluksen purkauksen nopeusvaatimukset täyttyisivät.

Saadut tulokset perustuvat satamaoperaattorin haastattelussa kerättyihin tietoihin satamaoperaattorin purkamista aluksista ja alusten teknisistä ominaisuuksista. Lisäksi haastatteluissa kerättiin tietoa sataman kapasiteetin käyttötavoista ja esiin tulleista ongelmista. Satama on suunniteltu tehokkaaksi, joten pullonkauloja ei muodostu sataman toimiessa suunnitellulla tavalla. Vetomestarin mallintamisen yhteydessä tunnistettiin useita tekijöitä, joilla saattaa olla vaikutusta varastokentän ruuhkaantumiseen. Tutkimuksen käytettävissä ei ollut satamaoperaattorin mittaamia tarkkoja tietoja esimerkiksi noutoprofiilista, varastokentän ruuhkautumisen muodostumisesta ja vetomestareiden vetotehon heikkenemisestä. Mikäli nämä tiedot olisi ollut käytössä, testeissä olisi voitu kokeilla laskennallisesti, miten suuria muutoksia noutojen tehostumisesta aiheutuu, mikäli ruuhkaantumisen syynä on jonojen muodostuminen. Mikäli ruuhkaantumisen syynä ovat käytävien vähyys, varastokenttä on sataman rakenteellinen pullonkaula. Varastokentän käyttötapaa olisi muutettava, jotta kenttä ei muodostu pullonkaulaksi.

Testeissä ja haastatteluissa selvitettiin myös muita ongelmia. Ongelmat eivät ole pullonkauloja, joten kapasiteettilisäykset eivät poista ongelmia.

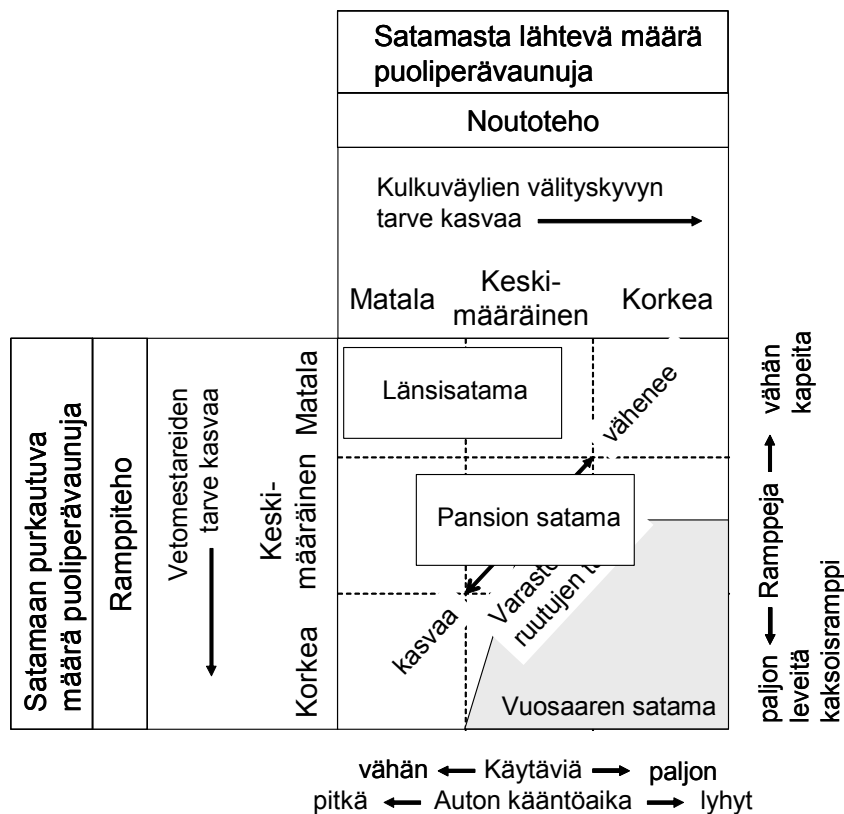
Vain ropax-laivoilla kuljetetaan myös kuljettajia. Kaksoisrampeilla tyhjennettävien alusten kuljettajat voidaan tarvittaessa lennättää Suomeen. Yleisempää on alihankkijoiden käyttö, jolloin yksi kuljettaja ajaa kuorma-auton alukseen lähtösatamassa ja toinen kuljettaja ajaa kuorma-auton ulos. Vaihdoista syntyy jonkin verran viivettä, joka voidaan poistaa lastaamalla ilman saattajaa kuljetettavat kuorma-autot purkauksen kannalta. Kuljettajista voi siis tulla pullonkaula.

Aluksen purkausnopeus määräytyy alusten teknisten ominaisuuksien perusteella, koska alukseen ei samanaikaisesti mahdu työskentelemään kuin rajattu määrä vetomestareita. Vetomestarin vetämiseen kuluu

aikaa ja ajettavaa matkaa on selvennetty liitteessä 4.4. Yhden vetomestarin yhteen vetoon minimissään käyttämää aikaa eli maksimitehoa on tarkasteltu liitteessä 4.4. Alusten purkauksesta mitattu läpivirtaus voi olla huomattavan korkea, mikäli mittaaminen perustuu maksimitehon käyttöön.

#### 4.6.7 Pansion sataman ja Vuosaaren sataman vertailu

Vuosaaren sataman ramppiteho ja noutoteho on suunniteltu eri tasolle kuin Turun sataman vastaavat kapasiteetit. Myös sataman liikennemäärät ovat erilaiset. Sama satamaoperaattori toimii kummassakin satamassa ja sama varustamo liikennöi kumpaankin satamaan. Turun satamanosien ramppitehon ja noutotehon tasoa Vuosaaren satamaan on vertailtu kuvassa 32.



Kuva 32 Turun sataman satamanosat verrattuna Vuosaaren satamaan

Osa Vuosaaren sataman liikenteestä voidaan ohjata purettavaksi Pansion satamaan. Pääosa liikenteestä ajetaan 4216 kaistametrin aluksilla, jota voidaan purkaa Pansion satamassa vain 1833 kaistametrin

osalta. Alusten kahta ylemmää kantta ei voida purkaa, joten 2383 kaistametriä jää kuljettamatta nykyisillä aluksilla. Taulukon 5 mukaisesti 4216 kaistametrin alus puretaan kahdeksan kertaa viikossa täyteen lastattuna. Nämä alukset tulisi purkaa Turussa puoliksi lastattuina ja lisäksi tuli hankkia korvaavia aluskäyntejä noin 19100 kaistametrin edestä viikossa.

Pansion satamassa on yksi leveä ramppi ja satamaan liikennöi alus noin kolme kertaa viikossa. Ramppi on vapaana noin neljänä päivänä viikossa. Vuosaaren satamassa puretaan normaalisi 17 aluskäyntiä ja testin 1 tilanteessa 21 aluskäyntiä. Pansion satamaan saapuisi taulukon 5 mukaisesti 10 kokoluokan 4216 kaistametrin aluksen aluskäyntiä. Jos satamassa olisi kaksi leveää ramppia, alukset voitaisiin purkaa. Loput 11 aluskäyntiä on purettava muissa satamanosissa, samoin kuin korvaaviin aluksiin siirtyneet 19100 kaistametriä eli vajaa 8 aluskäyntiä. Yhteensä purettavaa olisi noin 19 aluskäyntiä, joista 8 puretaan ja lastataan kokonaan ja loput 11 osittain.

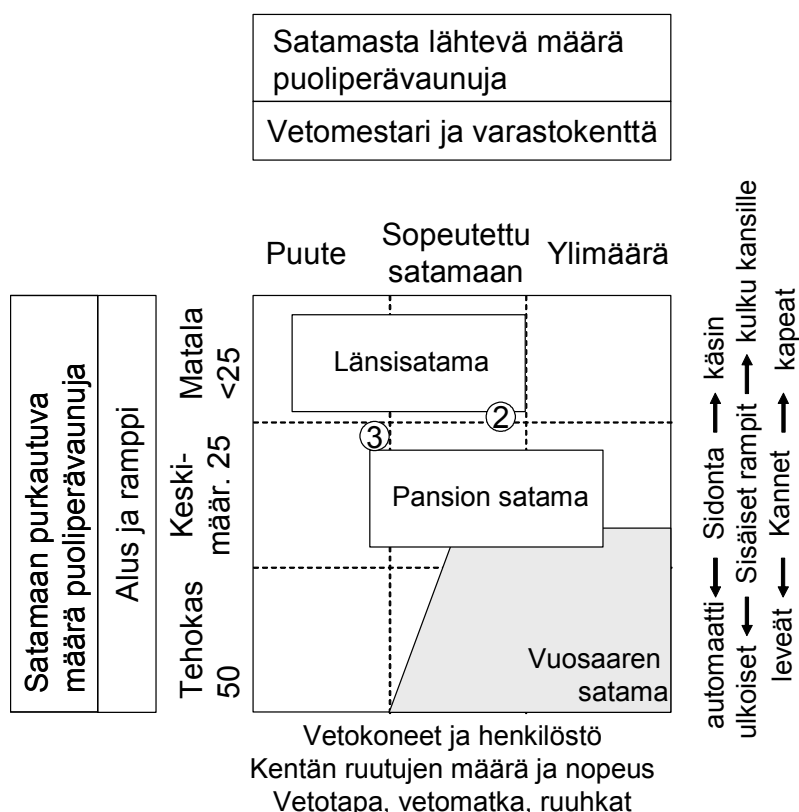
Testissä 2 heikennettiin ramppitehoa ja testissä 3 heikennettiin noutotehoa. Pansion sataman ja Länsisataman ramppiteho ovat matalampia kuin Vuosaaren sataman, joten testin tilanne vastaa todellista tilannetta. Länsisataman liikennöintiin käytetyt väylät ovat mutkittelevia ja kapeita, lisäksi varastokentältä noudot ajetaan kaupunkialueella. Siten testi 3 vastaa osittain Länsisataman tilannetta verrattuna Vuosaaren tilanteeseen.

Pansion sataman varastokenttä on mitoitettu yhdelle rampille. Varastokentälle puretaan alus noin kahden päivän välein. Mikäli ramppeja on kaksi, varastokenttä on liian pieni. Lisäksi varastokentän kiertonopeus täytyy muuttua kaksinkertaiseksi. Noutotehoa nopeuttamalla varastokenttä voidaan muuttaa läpivirtausterminaliksi ja tilanne vastaa testin 2 tilannetta.

Todennäköisesti varustamo vaihtaa Vuosaaren satamaan liikennöivät alukset paremmin Pansiossa purettaviksi. Varustamolla on esimerkiksi

3200 kaistametrin aluksia, jotka voidaan purkaa aluksen sisäisiä ramppoja pitkin. Mikäli kaikki 4216 kaistametrin alukset vaihdetaan 3200 kaistametrin aluksiksi, korvaavia aluksia täytyy hankkia vain 8000 kaistametriä varten. Jokin osa kaistametreistä voidaan lastata Pansiossa purettaviin kolmeen pienempään alukseen, joten korvaavia aluskäyntikertoja olisi löydyttävä vain kolme.

Pullonkaulaksi tulevat Turun sataman ramppinopeus, vetonopeus ja noutonopeus. Vertailuja on tiivistetty kuvaan 33.



Kuva 33 Turun satamanosien vetoteho verrattuna Vuosaaren satamaan.

Turun sataman kapasiteetti on sopeutettu Turun satamassa purettavalle liikenteelle. Alusten ja ramppien tekninen yhteensopimattomuus estää suurimpien 4216 kaistametrin alusten lastaamisen kantasataman kapeilla rampeilla. Samasta syystä alukset eivät voi kiinnittyä lastattavaksi tai purettavaksi Matkustajasataman tai Naantalin sataman kaksoisramppeihin. Molemmat satamat ovat lisäksi vilkkaasti liikennöityjä, joten satamanosaa ei voi varata lastilaivan purkamiseen ja lastaamiseen. Jos Pansion sataman käytössä on kaksi ramppia ja

purettavia aluksia on kaksi, Pansion sataman varastokenttä, kulkuväylät ja noudot ovat pullonkaula. Länsisataman kaikki osat on mitoitettu Pansion satamaa vähäisemmälle liikenteelle.

Mikäli Vuosaaren sataman liikenne siirrettäisiin kulkemaan Turun sataman satamanosien kautta, toistetaan testeissä 2 ja 3 esiintyvät tilanteet. Lisäksi testien perusolettamukset muuttuvat, koska kaikki sataman kapasiteettitarpeet ja saatavilla oleva kapasiteetti muuttuvat. Käsittelyn nopeuden vaatimuksesta on luovuttava, alusten purkaus on sopeutettava Pansion satamaan ja purkamatta jäävät alukset on siirrettävä muihin satamiin. Länsisatamassa purettiin lokakuussa 2009 tutkitun varustamon alus kolme kertaa, muita aluksia purettiin yhdeksän kertaa. Laiturille mahtuu korkeintaan kaksi alusta samanaikaisesti, joten aluskäyntikertoja on mahdollista purkaa yhden viikon aikana kymmenen. Vapaana on seitsemän aluskäyntikertaa.

Tutkitussa tilanteessa Vuosaaresta siirtyy 21 aluskäyntiä. Alukset vaihdetaan paremmin Pansiossa purettavaksi ja korvaavia aluskäyntejä hankitaan kolme. Purettavien alusten määrät ja purkamatta jäävä osuus on koottu taulukkoon 8.

*Taulukko 8 Turun satamassa purettavat Vuosaaren sataman aluskäynnit*

Purettava	Pansio	Länsisatama	Jää	%
Vaihtoehto 1	1 nykyinen ramppi			
24 alusta	4	7	13	54
	7	7	10	42
Vaihtoehto 2	2 ramppia			
24	10	7	7	29

Vuosaaren sataman liikenteen siirtäminen korvaavaan satamaan edellyttää tarkastelun käynnistymistä aluksista saakka. Vuosaaren sataman logistista ratkaisua ei voi sellaisenaan siirtää muualle, koska kaksoisrampit ovat sataman infrastruktuurin kiinteitä rakennelmia.



## **5 Tulokset**

### **5.1 Puoliperävaunujen purkamisen päävaiheet satamassa**

Tutkimuksessa on valittu läpivirtaus operatiivisen toiminnan kuvaajaksi. Keskittyminen läpivirtauksen mukaiseen mallintamiseen korostaa teorian mukaan toiminnan rajoitteiden hallintaa.

Läpivirtauksen mallin osia ovat varustamon liikenne, sataman infrastruktuuri, satamaoperaattori ja kuljetusyritysten noudot. Puoliperävaunujen purkauksen prosessiin käytetään mallin kaikkien osien kapasiteettia.

Puoliperävaunujen purkauksen prosessit on jaettu kolmeen osaan. Osia ovat alusten kansilla olevien kuljetusyksiköiden purkaus rampille, vedot rampilta varastokentälle ja kuljetusyritysten noudot varastokentiltä. Alusten purkaminen käynnistyy kuorma-autojen ulosajolla. Satamaoperaattorin vetomestarit siirtyvät alusten kansille. Puoliperävaunut vedetään ulos aluksesta ja edelleen varastokentän ruutuihin. Vetomestarit palaavat alukseen vetämään seuraavaa puoliperävaunua, joko suorana vetona tai ensin poiketen vetämään vientiyksikön kansilta vapautuneeseen tilaan. Myös muut vetotapojen yhdistelmät ovat mahdollisia. Puoliperävaunut poistuvat varastokentältä, kun kuljetusyritysten autot saapuvat noutamaan kuljetusyksiköjä, tuoden samalla mahdollisesti myös vientikuorman.

### **5.2 Tutkittavan prosessin kapasiteetin ongelmat**

Tutkittavana oli kaksi prosessia. Ensimmäinen tutkittu prosessi oli liikennemäärien kasvattaminen Vuosaaren satamassa. Toinen tutkittu prosessi oli Vuosaaren liikennemäärien siirtäminen korvaavaan satamaan kuten Turun satamaan. Vuosaaren satamassa tunnistettiin suuri läpivirtaus ja pieni kapasiteettitarve, jos alukset käyttävät alusten kanssa teknisesti yhteensopivaa sataman infrastruktuuria ja

kuljetusyksiköt ajavat omalla voimanlähteellä ulos satama-alueelta. Läpivirtaus säilyy aluksen rampilta sataman portille asti. Turun satamassa tunnistettiin pieni läpivirtaus ja suuri kapasiteettitarve. Alukset ja infrastruktuuri eivät ole teknisesti yhteensopivia. Jos lisäksi prosesseissa on eroja satamien välillä, kapasiteetin käytössä voi esiintyä pullonkauloja. Näiden kahden ääripään väliin asettui Vuosaaren sataman normaali liikenne ja lastirakenne.

Lastilautoilla kuljetettavat kuljetusyksiköt puretaan lastilauttaliikenteeseen erikoistuneisiin satamiin. Sataman infrastruktuuri, liikennöivät alukset ja kuljetusyritysten käyttämät reitit muuttuvat hitaasti. Sataman pitäjät, varustamot ja satamaoperaattorit mitoittavat toimintaverkoston kaikki osat yhteistyössä.

Tukkukaupat asettavat toimitusketjun nopeusvaatimukseksi alusten purkauksen ja kuljetusten perille saamisen kello 11.00 mennessä. Satamaoperaattori käyttää sataman kapasiteettia siten, että toiminnan nopeusvaatimus saavutetaan. Puoliperävaunujen purkauksen prosessin kapasiteettia rajoittavat sataman rampit, joiden tekninen kapasiteettikatto on saavutettu. Alusten purkauksen prosessin läpivirtaus määräytyy siis ramppitehon mukaisesti.

Satamaoperaattori kehittää tehokkaammin purettavia ja lastattavia aluksia, jotta liikennemäärien kasvusta huolimatta purkamisen nopeusvaatimukset täyttyisivät. Satamat siis erikoistuvat kautta kulkevaan liikenteeseen.

Sataman mitoitus ei kustannussyistä voi olla niin suuri, että satama jatkaisi toimintaansa kaikkien häiriöiden pitkittyessä. Eräs merkittävimmistä hypoteettisista häiriöistä on kuljetusyritysten noutojen häiriintyminen. Kuljetusyritysten noudot ovat yksi sataman suunnitteluperuste, kun on arvioitu tarvittavan varastokentän kokoa. Varastokentän mitoitus edellyttää, että varaston kierto toteutuu suunnitellulla tavalla. Mikäli sataman läpivirtaus ei pysy tasaisena, jonojen muodostuminen ruuhkauttaa kentän, satamaoperaattorin

työskentely hidastuu ja varastokentän täyttymisen jälkeen puoliperävaunujen purkauksen prosessi pysähtyy.

Kuvattu hypoteettinen häiriötilanne voi syntyä, mikäli suuremman sataman liikenne siirretään kulkemaan pienemmän sataman kautta. Teorian mukaan pullonkauloja muodostuu jatkuvasti, koska prosessit toistuvat harvoin täysin samanlaisena. Esimerkiksi liikennemäärien muutos voi aikaansaada teorian mukaan useita ja vaihtuvia pullonkauloja. Tällainen tilanne voi syntyä Turun sataman Pansion satamanosassa, jos sataman yhden rampin kautta pyritään purkamaan useampia aluksia yhden päivän aikana. Sataman varastokenttä on mitoitettu vain yhden aluksen purkamiselle.

Satamaoperaattori suunnittelee toimintaansa paitsi alusten tulo- ja lähtöaikojen, myös kuljetusyriyten noutoprofiilin perusteella. Jos sataman läpi virtaava liikenne siirretään kulkemaan toisen sataman kautta, kuljetusyriyten noutoprofiilit muuttuvat ja satamaoperaattori menettää kapasiteettitarpeiden suunnitteluun tarvittavan kokemusperäisen tiedon sataman läpivirtauksesta.

Satamien liikennemäärien lisääntyessä merkittävästi tai erityisesti sataman siirron jälkeen kestää jonkin aikaa, ennen kuin liikenne sataman läpi saadaan kulkemaan. Muuttuneessa tilanteessa on selvitettävä läpivirtausta rajoittavat ongelmat yksi kerrallaan.

Ensimmäinen tarvittavan kapasiteetin ja olemassa olevan kapasiteetin välinen ero on aluskäyntien lukumäärä. Tarvittava kapasiteetti ilmoitetaan siirtyvinä kaistametreinä ja aluskäyntien tiheytenä eli frekvenssinä. Siirtoon valitaan alus tai aluksia, jotka saadaan purettua ja lastattua käytettävissä satamissa. Aluksilla on siirryttävä suurin mahdollinen määrä lastattuja kaistametrejä ja tarvittaessa myös kuljettajia. Mikäli satamien ramppiteho on riittämätön, osa kuljetettavasta lastista voidaan vaihtaa nopeammin purettaviksi kuorma-autoiksi. Tuloksena on aluksen, kuljetettavan lastin ja saatavissa olevan ramppitehon yhteisesti määrittämä läpivirtaus.

Vuosaaren sataman ramppitehossa ei ollut kapasiteettiongelmia. Turun sataman satamanosien alusten purkaukseen satavilla oleva ramppiteho aiheuttaa suuria ongelmia Vuosaaren sataman liikenteen siirtämiselle kulkemaan Turun kautta. Sataman ramppitehoa ei ole mitoitettu Vuosaaren liikennemäärälle ja purkauksen nopeusvaatimuksille. Mikäli liikenteen siirto toteutetaan, purkausta on aikaistettava, jotta purettavat lastit ehditään kuljettamaan takaisin Vuosaaren sataman takamaalla olevien tukkukauppojen vastaanottoterminaaleihin. Turun sataman kapasiteetin riittämättömyyden takia osa aluskäynneistä on purettava muissa satamissa.

Toinen tarvittavan kapasiteetin ja saatavilla olevan kapasiteetin välinen ero on noutoteho. Kuljetusyrietysten noudot toteutuvat hitaammin, koska kuljetusmatkat pitenevät sataman siirron jälkeen. Mikäli varastokentät täyttyvät, vetomestareiden vetoteho heikkenee ja ramppitehoa ei pystytä ylläpitämään. Ongelmaa pyritään välttämään vetomestareiden ylimäärällä, jotta kapasiteetissa olisi joustovaraa. Vetomestareiden määrällä on jo nykyisin kapasiteettikatto, koska aluksen kansilla ja kaistoilla pystyy samanaikaisesti työskentelemään vain rajallinen määrä työkoneita.

Vetomestareita käytetään aluksen purkauksen alkuvaiheessa keskimääräistä tehokkaammin. Puoliperävaunujen purkauksen prosessi on tehokas ja varastokenttä täyttyy keskimääräistä nopeammin. Noutojen alkuvaiheessa kuljetusyrietykset pyrkivät saamaan tukkukauppoihin vietävät kuormat nopeasti noudettua. Varastokentän käytävät ruuhkaantuvat vetomestareiden ja kuljetusyrietysten autojen liikenteestä erityisesti maanantaiaamuisin, kun samanaikaisesti noudetaan lauantain, sunnuntain ja maanantain kuormia. Varastokentän käytäville ja operaattorin portille muodostuu noutotehoa heikentäviä jonoja.

Tutkittavan puoliperävaunujen purkauksen prosessin toisena kapasiteettiongelmana onkin aluksen purkauksen läpivirtauksen ja noutojen läpivirtauksen yhteen sovittaminen siten, että pullonkauloja ohjattaisiin tarkalla tasolla. Kun tavoitteena on teorian mukaan

läpivirtauksen maksimointi, pullonkaulojen käyttöaste pyritään pitämään maksimaalisena. Pullonkaulaan on varattava kapasiteetin ylimäärää, mikäli kokonaisjärjestelmän tahdotaan säilyttävän joustavuutensa. Kuitenkin varastokentän käytävillä liikennöivien vetomestareiden ja kuljetusyritysten autojen ruuhkauttaessa käytävät varastokentän käytävien kapasiteettitarve on suurempi kuin sataman kapasiteetti. Tällöin järjestelmässä ei teorian mukaan ole jäljellä joustavuutta kapasiteetin suhteen.

Ramppiteho suunnitellaan syöttämään puoliperävaunuja varastokentälle mahdollisimman nopeasti. Kuljetusyritysten noutoja pyritään kehittämään aika-avisoinnin mukaisiksi siten, että noudot toteutuvat mahdollisimman täsmällisesti. Mikäli purettu puoliperävaunut pudotetaan järjestelmällisesti alusta lähimpänä oleviin ruutuihin, purkaukseen ja noutoihin muodostuu jonoja. Tätä tilannetta voisi muuttaa varastokentän käyttötavan kehittäminen ja työnjohtajien ohjaama puoliperävaunujen pudotuspaikkojen valinta, joka tähtää ruuhkautumisen ehkäisemiseen ja vetotehon korkeana pitämiseen.

Teoriaosuudessa palveluja tuottavan järjestelmän esimerkkinä on käytetty sataman alusten purkausta. Palveluja tuottavan järjestelmän kapasiteetti määräytyy usean eri tekijän vaikutuksesta. Jos vaikutuksia ei tunneta, tutkittavan prosessin kapasiteetin suurimmat ongelmat saadaan esiin keskittymällä läpivirtauksen rajoitteisiin kuten ramppi-, veto- ja noutotehoon. Osa nykyisistä ongelmista jäi todennäköisesti tunnistamatta. Tässä tutkimuksessa suurin selvittämätön ongelma on varastokentän muodostuminen pullonkaulaksi varastokentän ruuhkautuessa, ruuhkautumisen vaikutukset noutotehoon, vetotehoon ja edelleen ramppitehoon ja aluksen purkausaikaan ja nopeusvaatimusten täyttymiseen.

### **5.3 Läpivirtausta eniten heikentävät tilanteet ja muutosten suuruus**

Kun satama toimii keskimääräisellä käyttöasteella, prosessien rajoitteet eivät muuta läpivirtausta. Prosessien läpivirtausta heikentävät pullonkaulat tulevat esiin, kun käyttöasteet nousevat korkeiksi ja pullonkaulojen kapasiteettitarpeet ylittävät saatavilla olevan kapasiteetin.

Vuosaaren sataman suurin kapasiteettitarve on maanantaina, kun jokaiselta rampilta puretan aluksia samanaikaisesti ja varastokentältä noudetaan lauantain, sunnuntain ja maanantaiaamun aikana purettuja kuormia. Vuosaaressa alusten purkaukseen ja lastaukseen varataan normaalisti vähintään 10 tuntia, jolloin alusten purkausta ja lastausta voidaan pitää nopeana.

Vuosaaren sataman tärkein rajoite on alusten purkaminen kello 11.00 mennessä ja varastokentän kokorajoite 1080 ruutua. Vuosaareen liikennöivät alukset ovat tehokkaimpia Vuosaaressa ja reitin vastasatamassa Travemündessä, joissa on hankittu alusten tehokkaaseen käsittelyyn sopivat rampit ja työkoneet. Muissa satamissa ei ole reitillä käytettävillä aluksilla suunniteltua kaksoisramppeja, alus ei voi kiinnittyä esimerkiksi Turun Matkustajasataman ja Naantalın sataman kaksoisramppeihin (Helminen, 2010). Reitin alukset eivät lastaa ja pura satamissa, joissa on vain kapeita maaramppeja (Takanen, 2010).

Vuosaaren sataman läpivirtausta heikentävät eniten tilanteet, joissa Vuosaaren sataman liikenteelle suunnitellut alukset on korvattava muun tyyppisillä aluksilla. Mikäli sataman liikenteeseen käytetään satamalle suunniteltuja aluksia, ramppien määrä ja vapaana olevien ramppien vähäisyys ei heikennä sataman läpivirtausta, jos satamaan ei sataman suuren liikennemäärän lisäksi ole tulossa muuta liikennettä. Liikennemäärien muutoksia satamien välillä ei ole toteutunut taantuman aikana. Lisäksi testissä todettiin, että sataman ramppien ramppitehon tulisi puolittua, ennen kuin alusten purkausaika kasvaisi niin pitkäksi, että aluksia ei voitaisi purkaa ja lastata sataman aukioloaikana.

Alusten purkauksen nopeusvaatimus ei täyty, jos alukset on lastattu täyteen puoliperävaunuja tai muita vetomestareiden ulos vetämiä kuljetusyksiköitä. Suurten kokoluokan ropax-alusten lastista osan on aina oltava kuorma-autoja, joiden ramppiteho on nelinkertainen verrattuna vetomestareiden ramppitehoon.

Vuosaaren sataman noutotehon on puolituttava maanantaina ja laskettava muina viikonpäivinä hyvin alhaiseksi, ennen kuin varastokenttä täyttyy ja puoliperävaunujen purkaus pysähtyy. Mikäli myös vetotehoa vähennetään, varastokenttä ei täyty. Kun liikennemäärät kasvavat, vetomestareiden vetotehon merkitys lisääntyy. Kun ramppi on vetotehon tekninen rajoite, vetotehoa on hyvin vaikea parantaa. Jos alusten täyttöaste nousee, lastina on puoliperävaunuja ja purkauksen nopeusvaatimuksesta pidetään kiinni, läpivirtaus voi aluksi parantua vetomestareiden toimiessa maksimiteholla. Maksimitehon käyttäminen vähentää ramppitehon, vetotehon ja noutotehon joustovaraa ja järjestelmä on herkkä häiriöille. Muutosten suuruutta ei päästy testaamaan laskennallisesti, mutta muutoksia arvioitiin haastattelujen perusteella liitteissä.

#### **5.4 Järjestelmät osat, joiden lisäkapasiteetti parantaa sataman kapasiteettijoustavuutta**

Sataman kapasiteettijoustavuus voi olla esimerkiksi sanallinen kuvaus, miten kapasiteetti tuotetaan eri tilanteissa. Lisäksi kuvauksessa voidaan arvioida kokonaistuloksen tuottamiseen kulunutta aikaa. Siten sataman kapasiteettijoustavuutta parantava lisäkapasiteetti voi olla sanallinen kuvaus, miten kapasiteettia voidaan parantaa. Parannusehdotuksia on koottu teoriaosuudesta, haastatteluista, toteutuneista kapasiteettilisäyksistä ja tutkimuksessa testatuista tilanteista.

##### **5.4.1 Teoriaosuudessa tunnistettuja järjestelmän osan lisäkapasiteetteja**

Teoriaosuudessa on esitelty pullonkaulojen poistamiseksi investointeja, työvoiman muutoksia ja prosessien muuttamista. Investoinnit voivat

kohdistua esimerkiksi Turussa ramppeihin ja varastokentän kokoon, jota kasvatetaan ramppien lukumäärää vastaavaksi. Lisäksi Työvuoroja voidaan lisätä, jotta alusten purkausta ja lastausta saadaan aikaistettua kuljetusyritysten kuljetusmatkojen pitenemistä vastaavaksi. Prosessien muuttaminen voisi tarkoittaa alusten lastaamista purkauksen kannalta.

Teoriaosuudessa esiteltyjä muita keinoja ovat käsittelyajan muuttaminen, koneiden lukumäärän lisääminen ja työskentelytapojen muuttaminen. Alusten purkauksesta kello 11.00 mennessä olisi joustettava, mikäli liikenne siirtyy Turkuun, jos lastausta purkauksen kannalta ei voida toteuttaa. Turkuun voidaan lisätä työkoneiden lukumäärää. Työskentelytapoja muutetaan, kun varastokentän käyttötapaa kehitetään ja varastokentän käytävillä kulkemista ohjataan tarkemmalla tasolla. Lisäksi pudotukseen käytettävät ruudut voidaan valita siten, että liikennettä käytävillä tasataan.

Teorian mukaan kapasiteettitarpeita voidaan muuttamalla reittejä, joten osa Turkuun siirrettävästä liikenteestä ohjataan kulkemaan Ruotsin kautta matkustajalautoille. Uudelleen aikataulutusta voidaan käyttää muuttamalla noutojen aikatauluja kuljetusyritysten kanssa tehtävänä yhteistyönä, mikäli liikenne siirretään kulkemaan korvaavaan satamaan. Koko järjestelmän läpivirtaus voidaan sovittaa vastaamaan pullonkaulan kapasiteettia. Purkausta voidaan hidastaa ja noutoja nopeuttaa, jotta läpivirtaus saavuttaa tasapainon ja sataman kapasiteettijoustavuus paranee.

Yksinkertaisin keino lisäkapasiteetin tuottamiseen on vaihtaa puoliperävaunuja kuorma-autoiksi. Tässä vaihtoehdossa kuormitus vähenee, mutta kuljetettavien lastien lukumäärä pysyy ennallaan.

#### 5.4.2 Haastatteluissa tunnistettuja järjestelmän osan lisäkapasiteetteja

Lisäkapasiteettia voidaan kohdistaa ramppitehon, vetotehon tai noutotehon parantamiseksi. Mikäli purkauksen nopeusvaatimusta kello 11.00 mennessä ei saavuteta, lisäys on kohdistettava ramppitehoon ja



vetotehoon. Mikäli varastokentän koko ei riitä, lisäys on kohdistettava noutotehoon.

Haastattelussa tunnistettuja keinoja lisäkapasiteetin tuottamiseen on havainnollistettu kuvassa 24. Läpivirtaus rampin kautta määräytyy alusten tyypin, ramppien määrän ja teknisten ominaisuuksien sekä purettavien kuljetusyksikköjen perusteella. Häiriötilanteissa on nopein toteuttaa kuljetusyksikköjen vaihtaminen kuorma-autoiksi.

Noutotehoon on vaikein vaikuttaa, koska satamanpitäjä, varustamo ja satamaoperaattori eivät omista kuljetusyksikköjä noutavia autoja. Varastokentän kasvattaminen on pitkäaikainen investointi. Varastokentän käyttötavan valita tilanteen mukaisesti on tehokas, mutta vähän käytetty vaihtoehto. Vetomestareiden työskentelyyn ei tahdota muutoksia, jotta suunnitteluperusteena oleva ramppiteho ja mitattu vetoteho eivät heikkene.

Vetotehoon vaikuttavat useat eri tekijät, joiden keskinäisiä vaikutussuhteita ja paremmuutta ei selvitetty. Vetotehon parantamiseen pätevät kaikki samat toimenpiteet, joilla parannetaan ramppi- ja noutotehoa.

#### 5.4.3 Toteutettuja järjestelmän osan lisäkapasiteetteja

Varustamo on parantanut alusten lastaamista. Satamanpitäjä on parantanut ramppeja, jotta pullonkauloja on poistettu jo sataman suunnittelun ja rakentamisen yhteydessä. Satamaoperaattori on kehittänyt alusten lastaamista purkauksen kannalta ja sähköisen varastokirjanpidon käyttöä. Purkausajat lasketaan tarkasti ja ilmoitetaan kuljetusyrityksille. Vetotavat pidetään lyhyinä ja tehokkaina ja hyödynnetään aluksen sisäisiä ramppeja. Vetomestareita on riittävästi. Varastokentän rakenteita kehitetään ja käytetään nopeasti ajettavia rivejä.

Tutkimuksessa ei tunnistettu toimenpiteitä, jotka olisivat parantaneet maksimitehon käyttöä. Työvuorojen suunnittelu ei tue maksimitehon

käyttöä. Työvuorot suunnitellaan ennen kuin alusten lastit ovat tiedossa. Lisäksi viikonlopun kuormat puretaan alusta lähinnä oleville rampeille. Jos lastit purettaisiin kauemmaksi, maanantaiaamun ruuhkat käytävillä voisivat olla vähäisempiä.

#### 5.4.4 Tutkimuksessa tunnistettuja pullonkauloja ja niihin sopivia lisäkapasiteetteja

Tutkimuksessa tunnistettiin kaksi merkittävää Vuosaaren sataman pullonkaulaa, joita ovat noutoteho ja varastokentän ruuhkaantuminen. Korkea noutoteho vähentää varastokentän ruutujen tarvetta, lyhentää vetomatkoja ja parantaa vetotehoa. Varastokentän sopeuttaminen korkealle noutoteholle pienentää kokovaatimuksia. Liikennemäärien kasvattaminen ruuhkauttaa käytävät ja heikentää vetotehoa. Noutoja on vaikea ohjata saapumaan täsmällisesti, joten jonojen muodostuminen ruuhkauttaa toiminnan varastokentällä.

Noutotehosta tulee pullonkaula, jos jonojen muodostumista ei voida estää. Varastokentästä tulee pullonkaula, jos ramppiteho syöttää suuren määrän puoliperävaunuja, noutoteho syöttää suuren määrän noutavia autoja ja varastokentän ruudut on varattu useiden purettavien ja lastattavien aluskäyntien käyttöön. Tällöin yhdelle aluskäynnille voidaan varata vain vähän käytäviä ja liikennöinti käytävillä ruuhkaantuu.

Vetomestarit ja rampit eivät ole pullonkaula. Molempia on riittävästi Vuosaaren satamaan saapuvalla liikenteelle. Vetomestareista on ylijäämää, jolla tasataan satunnaiset työkoneiden rikkoontumiset.

Turun satamasta tunnistettiin useita pullonkauloja, jotka heikentävät sataman läpivirtausta. Alusten purkaukseen rampeille vaikuttavat laiturien pituus, ramppien leveys, samanaikaisesti käytettävissä olevien ramppien lukumäärä ja ramppien sijainti lähellä varastokenttää. Varastokentille pudotukseen vaikuttavat kulkuväytät rampeilta varastokentälle, varastokenttien koko ja käyttötapa sekä sijainti ja käytettävissä olevien vetomestareiden lukumäärä. Varastokentiltä noutoihin vaikuttavat ajoväylien välityskyky satama-alueelle ja

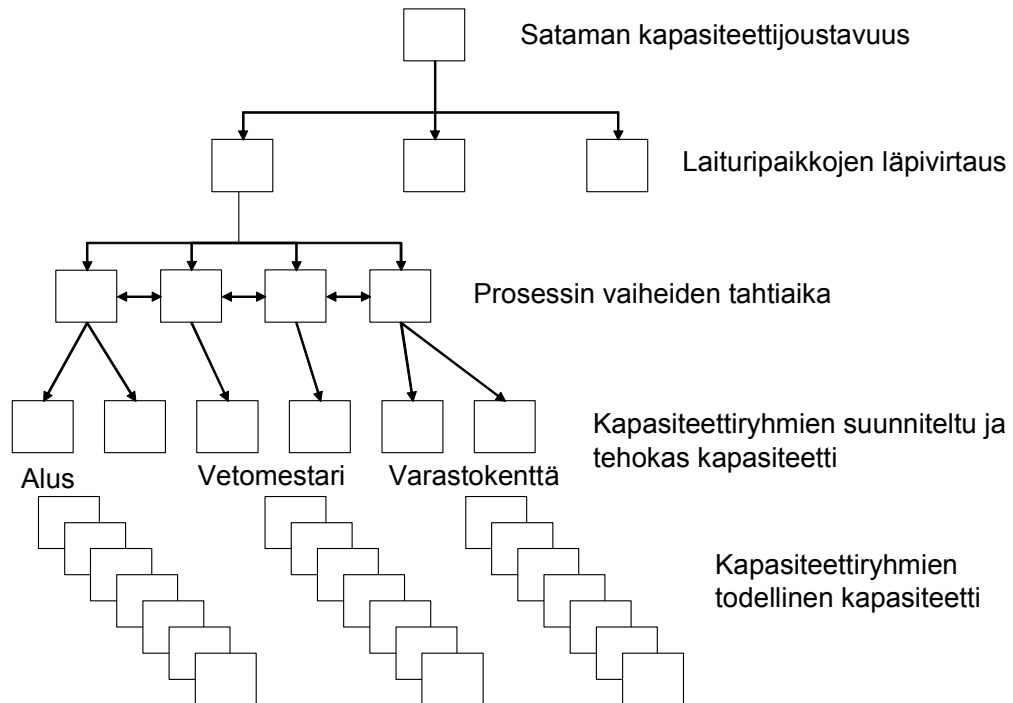
operaattorin terminaaliin noudoille asetetun aikaikkunan sisällä. Aluskäyntien lukumäärä ja alusten kuljettamat kuljetusyksiköt vaikuttavat sataman läpivirtauksen kaikkiin vaiheisiin. Suurten alusten korvaus pienemmillä aluksilla rajoittaa kerralla siirtyvien kaistametrioiden lukumäärää. Kuljetusyksiköiden vaihtaminen tehokkaammin käsiteltäviksi voi kasvattaa läpivirtausta, mikäli kuljettajista ei ole pulaa. Pääosa edellä kuvatuista pullonkauloista on vaikeasti muutettavia, mikäli muutoksen olisi oltava nopea.

## **5.5 Läpivirtaus ja mittaaminen**

Sataman läpivirtausaikaa mitataan alusten lastina purettavaksi saapuvien kuljetusyksiköiden määrän ja käsittelyajan tulona, vaihtoehtoisesti määrän ja työkoneen läpivirtauksen osamääränä. Käsittelyajalle käytetäänkin useita mittareita, jotka ilmoittavat joko prosessin tahtiajan tai työkoneen kuten rampin läpivirtauksen. Prosessin tahtiaika on esimerkiksi rampin ylitys kahden minuutin välein, kapasiteettiryhmän läpivirtaus on esimerkiksi ramppiteho kuljetusyksikköjen määränä tunnissa. Vetoteho on vetomestarin tuottaman läpivirtaus eli vetojen määrä tunnissa.

Puoliperävaunujen purkamisen kapasiteettitarpeita mitataan alusten purkamisen nopeusvaatimusten ja alusten lastien käsittelyn nopeuden mukaisesti. Hitaammin purettavien alusten kapasiteettitarpeet ovat suuremmat kuin nopeammin purettavien ja suurten alusten. Tärkeimmät kapasiteettitarpeet perustuvat tarvittavan ramppitehon, vetotehon ja noutotehon ylläpitämiseen. Jotta kapasiteetti riittää myös kuormitushuippuun, noudot varastokentältä tule mitoittaa tapahtuviksi purkauksen alkuvaiheessa lähes samassa tahdissa kuin vedot varastokentälle. Nopeat noudot lyhentävät vetomestareiden vetomatkoja ja yhden puoliperävaunun käsittelyyn tarvittavaa aikaa. Vetomestarin vetoihin kuluva käsittelyajan laskemiseksi on tässä tutkimuksessa tuotettu kaavoja, jotka arvioivat kuljettua matkaa. Kuljettua matkaa on arvioitu kolmesta tärkeimmästä satamaoperaattorin prosessin osasta.

Arvioituja osia ovat vetomestarin toimenpiteet aluksen ruumassa, vetomestarin toimenpiteet varastokentällä ja kuljetusyrityksen noudot varastokentältä.



*Kuva 34 Sataman kapasiteettijoustavuuteen liittyvät mittarit*

Sataman läpivirtaus voidaan mitata joko puoliperävaunujen purkauksesta varastokentälle tai puoliperävaunujen noudoista. Kapasiteettitarpeita mitataan eri tavoin, kun alusta puretaan tai kuljetusyritykset noutavat puoliperävaunuja varastokentältä. Satamaoperaattori mittaa toiminnan nopeutta. Kapasiteettitarpeiden mittaaminen perustuu aluksen purkaukseen kello 11.00 mennessä ja tarvittavaan ramppitehoon, vetotehoon ja noutoprofiilien mukaiseen noutotehoon.

Sataman portin läpi virtaavien puoliperävaunujen määrä eli sataman läpivirtaus ulos satamasta muodostuu yhden tai useamman operaattorin yhdeltä tai useammalta rampilta purkamista kuljetusyksiköistä sekä aiemmin varastokentälle noutoja odottamaan puretuista kuljetusyksiköistä. Sataman läpivirtaus on erilainen alusten purkauksen

eri vaiheissa. Purkauksen alussa ulos virtaa kuorma-autoja ja läpivirtaus on korkea. Puoliperävaunujen purkauksen alussa vetoteho on korkeampi kuin koko aluksen purkauksen ajalta mitattu keskimääräinen vetoteho. Myös noutotehon oletetaan olevan korkea purkauksen alussa. Purkauksen loppua kohti vetomatkat pitenevät ja satamaoperaattorin vetotehosta mitattu läpivirtaus heikkenee. Satamaoperaattorin portilta mitattu läpivirtaus voi pysyä korkeana. Mikäli läpivirtaus ilmoitetaan sataman aukioloajalle, eroja ei ole eri mittaustapojen välillä.

## **5.6 Laskentamallin toimivuus ja virheettömyys**

### **5.6.1 Käytetyn datan kattavuus ja luotettavuus**

Tutkimuksessa on käytetty liikennemäärien, varustamon, sataman infrastruktuurin ja satamaoperaattorin tietoja. Käytetystä datasta on arvioitu, kuinka nopeasti kohdealueella kerätyt tiedot muuttuvat eli kuinka kauan tulokset säilyttävät käyttökelpoisuutensa. Lisäksi on arvioitu, kuinka laajasti kootut tiedot kattavat toimialan.

Varustamon liikennemäärät yksittäisillä reiteillä voivat muuttua nopeastikin. Styhre (2009) kuvasi kilpailutekijöitä, jotka vaikuttavat frekvenssiin liikennöidyillä reiteillä. Tutkittu varustamo on muuttanut liikennöintiaikatauluja noin 3 kuukauden välein. Esimerkiksi Turun Pansion sataman liikenne lokakuussa 2009 oli erilainen kuin huhtikuussa 2010. Vuosaaren sataman liikenteessä ei tapahtunut suuria muutoksia vuonna 2009 verrattuna edelliseen vuoteen. Alusten täyttöasteen oletetaan olevan lyhyillä reiteillä matalampi kuin pitkillä reiteillä, mutta tästä ei ole saatu julkaistua tietoa.

Varustamon alusten kokoluokka muuttuu niin hitaasti, että sitä voidaan pitää vakiona. Sen sijaan varustamot vaihtavat hallinnassaan olevaa aluskapasiteettia linjalta toiselle kysynnän mukaan. Kokoluokan 4216 alukset on rakennettu Vuosaaren ja Travemünden välisille reiteille, joten liikenteen ei oleteta muuttuvan tällä reitillä nopeasti.

Sataman infrastruktuuri muuttuu hitaasti. Ramppien määrää lisäämällä ja ramppeja leventämällä voidaan vaikuttaa alusten liikennöintiin satamaan ja satamanosiin.

Satamaoperaattori sopeutuu liikennemäärien, varustamon alusten ja sataman infrastruktuurin muutoksiin. Turun sataman Pansion satamanosassa toimii sama satamaoperaattori kuin Helsingin sataman Vuosaaren satamanosassa. Satamaoperaattori purkaa saman varustamon aluksia kummassakin satamassa, joten liiketoimintasuhde on olemassa. Kumpaankin satamaan saapuvista aluksista pääosa on lastattu samassa lähtösatamassa. Satamiin liikennöivät alukset ovat erilaisia. Satamaoperaattori voi sopeutua liikennemäärien muutokseen, jos satamien tavaraliikenne säilyy eli tarve purkaa kuorma-autoja ja puoliperävaunuja siirtyy satamasta toiseen ja vain purettavien kuljetusyksiköiden määrä kasvaa. Korvaavassa satamassa toimiva satamaoperaattori kasvattaa resurssien käyttöastetta resurssien ylärajalle asti. Vuosaaren sataman lastilauttaliikennettä voidaan alkaa purkaa lyhyellä viipeellä Pansion satamassa, koska satamaoperaattorilla on toimintaa Turussa, sopimukset ja toimintatavat liikennöivien varustamoiden kanssa säilyvät ennallaan ja Vuosaaresta saadaan lisäresursseja (Rautiainen, 2010).

Helsingin satamaan saapuvien ja satamasta lähtevien kuljetusten reititykset pysyivät suhteellisen ennallaan vuonna 2009 verrattuna edellisvuoteen. Varustamojen ja satamien toiminnassa ei tapahtunut suuria muutoksia verrattuna taantumaa edeltävään aikaan. (Helsingin satama, 2009b)

Helsingin sataman yksiköidystä tavaraliikenteestä kuljetettiin 71 % ro-ro-aluksilla. Helsingin satamaan saapuneesta ja lähteneistä ro-ro-alusten yksiköidystä tavaraliikenteestä kuljetettiin 47 % lastilautoilla ja ropax-aluksilla vuonna 2009. Helsingin satamasta lähti Finnsteven purkamia Finnlines-varustamon rorolauttoja 16 kertaa viikossa. (Helsingin satama, 2009b) Tutkittu lähimerenkulun liikennöijä on keskittynyt ro-ro- ja ropax-

liikenteeseen. Yritys on pohjoisen Itämeren lastilaivaliikenteen markkinajohtaja. (Brooks ja Frost, 2009)

Vuosaaren satama on osa Helsingin satamaa, jonka kautta kuljetettiin vuonna 2009 yli 430.000 kuorma-autoa tai puoliperävaunua tai vastaavaa kuljetusyksikköä kokonaismäärän ollessa 61 % sataman yksiköidyn tavaraliikenteen määrästä (Helsingin satama, 2009b). Helsingin sataman yksiköidystä tavaraliikenteestä oli perävaunujen osuus 30 % vuonna 2009. Yksiköity tavaraliikenne sisältää kuljetusyksiköitä kuten kuorma-autot, perävaunut, kontit, lauttavaunut ja kasetit. (Helsingin satama, 2009b) Kuljetettavien kuljetusyksiköiden kokonaismäärän moninkertaistumiselle ei ole perusteita normaalitilanteessa.

Vuosaaren satamaan saapui huomattavia määriä kuorma-autoja ja puoliperävaunuja tutkitun satamaoperaattorin purkamista aluksista. Esimerkiksi kaikki Merenkululaitoksen kumulatiivisissa kuukausitilastoissa lokakuussa 2009 Helsingin satamaan Travemündestä ja Gdyniasta saapuneet kuorma-autot ja puoliperävaunut kulkivat tutkitun satamaoperaattorin kautta.

Edellä kuvatuista julkaistuista tiedoista ei voi selvittää tutkitun varustamon rorolautoilla kuljetettujen kuorma-autojen ja puoliperävaunujen osuutta Helsingin sataman koko liikenteestä tai kapasiteetista kaistakilometreinä tai kuljetusyksikköinä ilmoitettuna. Siksi Helsingin sataman tilastoista ei saada riittävän tarkkoja lähtötietoja tähän tutkimukseen. Tutkimuksessa käytetyt tiedot hankittiin satamaoperaattorilta.

#### 5.6.2 Tehtyjen rajausten vaikutukset

Mallissa on kolmen tasoisia rajauksia. Tutkimussuunnitelmassa on tutkimuksen ulkopuolelle rajattuja osia. Mallin suunnittelussa on rajattu mallin ulkopuolelle muuttujia. Mallintamisessa on havaittu toimintatapojen eri versioita, joista vain osa on voitu selvittää.

Tutkimussuunnitelmassa rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle tavaravirran kasvu. Kuljetettavan tavaravirran määrän kasvu ei vaikuta suoraan kuljetettavien puoliperävaunujen lukumäärän lisääntymiseen. Tavaravirran kokonaismäärän kasvaessa kuljetusyksikköjen täyttöaste kasvaa jonkin aikaa, kunnes kuljetusyksiköt täyttyvät joko painon tai tilavuuden suhteen. Kuljetusyksikköjen täyttöastetta painon tai tilavuuden suhteen ei tilastoida. Tiedot ovat johdettavissa ja arvioitavissa, mutta ne eivät ole tilastollisesti luotettavia. (Rautiainen, 2010)

Tutkimussuunnitelmassa rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle pääprosessien osaprosessien selvittäminen. Siten vetotehon, ramppitehon ja noutotehon välisiä liittymiä ei ole voitu selvittää. Satamaoperaattorin kapasiteetin muutoksilla ei oleteta olevan suurta vaikutusta sataman läpivirtauksen ja kapasiteettijoustavuuden muutoksiin nykyisessä tilanteessa, kun vetomestareita on selvästi tarvetta enemmän. Kuitenkin maksimitehon käytön aikana hävikiksi on ilmoitettu 8 – 16 % ja hävikin syitä ei ole selvitetty. Hävikillä saattaa olla suuri vaikutus vetotehon parantamiseen aluksen purkauksen aikana ja maksimitehon käyttöajan pidentämiseen.

Mallin suunnittelussa rajattiin mallin ulkopuolelle kolme muuttujaa. Ajonopeus vaikuttaa vetotehoon, mutta ajomatkat ovat lyhyitä. Ajonopeudella ei arvioida olevan suurta vaikutusta mallinnettaessa keskimääräisillä vetotehoilla. Mikäli vetotehoa mallinnetaan maksimitehokkuudella, ajonopeudella on merkitystä. Maksimitehon ajomatkoja ja ajoaikoja on vertailtu taulukossa 58. Taulukon tietoihin voitaisiin lisätä yhdeksi arvioitavaksi kohteeksi myös ajonopeus.

Mallin ulkopuolelle rajattiin noutotehon noutoprofiili. Noutoprofiilin selvittämisellä voi olla suuri vaikutus keskimääräisten vetomatkojen lyhenemiseen ja myös keskimääräiseen vetotehoon, mikäli aluksen purkausta mallinnetaan tuntitasolla eikä koko purkauksen ajalta. Noutoprofiilin selvittämisellä oletetaan olevan suuri vaikutus, mikäli maksimitehon käyttöä kehitetään.



Mallin ulkopuolelle rajattiin varastokentän käyttötavan selvittäminen. Aluksen purkaukseen varattujen käytävien määrä vaikuttaa samanaikaisten noutojen määrään käytävällä, käytävien ruuhkautumiseen aluksen purkauksen edetessä ja vetomestareiden työskentelyn tehokkuuteen samoilla käytävillä.

Mallintamisen edetessä havaittiin, että ISPS-turvataso nosto tulee muuttamaan sataman toimintatapoja. Normaalisti turvataso on 0 ja ainoastaan tämän tason toimintatavat on mallinnettu.

Mallintamisen edetessä havaittiin, että satamaoperaattori käyttää aluksen purkamisen aikana erilaisia tehokkaita toimintatapoja. Esimerkiksi vetomestari voi valita tehokkaimman vetotavan. Tässä tutkimuksessa vetomestari vetää suoria vetoja alukselta varastokentälle ja takaisin. Vetomestari voi vetää kolmiota, jossa ensin vedetään tuontikuorma kentälle, sitten kentältä otetaan vientikuorma ja vientikuorma vedetään alukseen. Tässä vetotavassa vetomestarin käyttö ja aluksen lastaus on nopeampaa. Kolmannessa vetotavassa aluksen sisällä voi olla vetomestareita, jotka siirtävät puoliperävaunut lähelle peräramppia. Varastokentällä vetävät vetomestarit vetävät puoliperävaunut ruutuun.

Mallintamisen alussa laskettiin, miten vetomestarin vetoteho voi vaihdella aluksen purkauksen eri vaiheissa. Satamaoperaattori on ilmoittanut mitatut arvot koko purkauksen ajalta toimittaessa normaalilla kapasiteetilla. Tutkimuksen käyttöön ei ollut luovutettu maksimitehoa kuvaavia mitattuja tietoja tai muita havaintoja. Maksimitehon käsitettä ei selvennetty haastatteluissa. Tutkimuksessa maksimitehon käsite on luotu analysoimalla muuta aineistoa ja arvioimalla, mikä saa aikaan satamaoperaattorin kertomia muutoksia kuten ruuhkaantumista käytävillä, käytävillä liikkuvien ajoneuvojen rajoittamista ja hyvin nopeita sekä hyvin hitaita vetoja varastokentälle. Kuvauksen perusteella on voitu arvioida merkittävimpiä eroja verrattuna normaalikapasiteettiin. Maksimitehon saavuttamisessa pahin pullonkaula on rampin tekninen rajoite ja hävikin suuri osuus. Vetomestari ylittää rampin normaalisti yhden minuutin välein, vuorotellen tyhjänä ja täytenä. Satamaoperaattori

on ilmoittanut hävikiksi 8 – 16 % toimittaessa maksimikapasiteetilla. Hävikin syitä ei ole ilmoitettu, mutta esimerkiksi sataman prosessien hidastumisen syyksi on ilmoitettu ruuhkaantuminen käytävillä ja odottaminen. Käytävien ruuhkaantuminen vaikuttaa noutotehoon. Tällöin puoliperävaunuja noutavien autojen määrää rajoitetaan varastokentällä. Maksimaalisen vetotehon käytön suunnittelua parantamalla voidaan parantaa myös noutotehoa.

Koska maksimitehon käyttö rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, myöskään vetomestarin työskentelyä ei voitu tutkia tarkalla tasolla. Ennen kuin maksimiteho rajattiin ulkopuolelle, vetomestarin työskentely mallinnettiin tarkasti. Tutkimuksen ulkopuolelle rajattu tulos on vetomestareiden käyttö aluksen kansilla ja vetojen muuttuminen eri kansilta tai kansien osista vedettäessä. Tuloksia on käytetty arvioitaessa, kuinka suuria muutoksia vetotehoon on mahdollista tehdä ja kuinka kauan hetkellistä huipputehoa voidaan ylläpitää. Lisäksi keskimääräisestä vetotehosta on arvioitu, kuinka suuri muutos pääkannen purkamisen aikana voi olla ylöspäin ja kuinka suuri muutos muiden kansien purkamisen aikana voi olla alaspäin.

Vetomestarin työskentelystä on tämän tutkimuksen ulkopuolelle rajattu myös vetomatkojen ja vetoajan sekä varastokentältä noutojen vaikutukset toisiinsa. Edelliseen liittyy purkaukseen käytettävissä olevien käytävien määrä ja käytävillä samanaikaisesti liikennöivien satamaoperaattorin vetomestareiden ja kuljetusliikkeiden autojen määrä. Käytävien ruuhkautumisen mallintaminen edellyttäisi myös noutoprofiilin huomioimista. Liikenteen rajoittaminen vähentää noutojen määrää, pidentää vetomatkoja ja heikentää vetotehoa, toisaalta ruuhkautumisen väheneminen parantaa ajonopeutta.

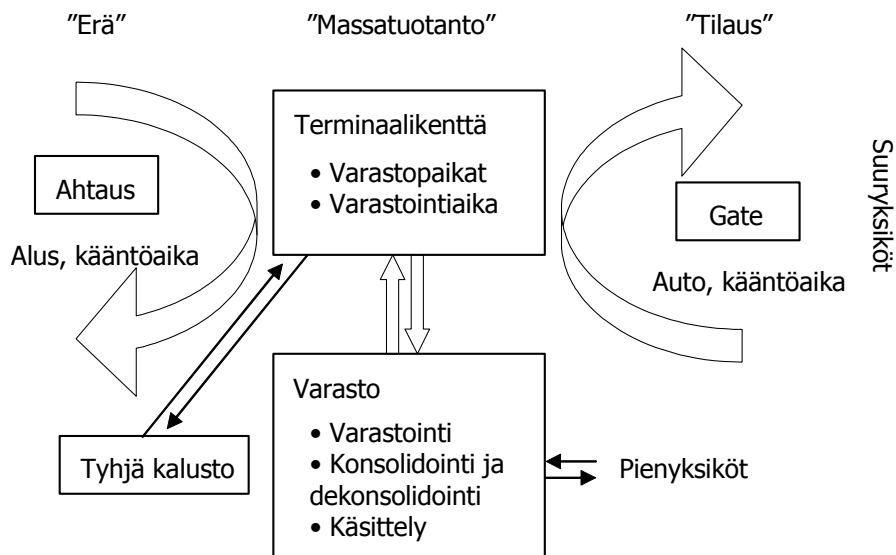
Maksimitehon käytössä on myös aluskohtaisia eroja. Maksimitehon käyttöaika on pisin aluksissa, joiden suuret pääkannet voidaan purkaa leveiden maaramppien kautta lähellä alusta oleville varastokentän ruuduille. Tällaisia aluskäyntejä on eniten Vuosaaren satamassa.

Tässä tutkimuksessa ei tarkastella rampin käyttämistä perättäisten alusten purkamiseen saman päivän aikana. Jos yhdellä rampilla puretaan perättäin useita aluksia, alusten purkaus ei pääty kello 11.00. Kun purkaus jatkuu sataman koko aukioloajan, purkauksen kesto aika vaihtelee, tarvittava varastokentän koko muuttuu ja varastokentän tukkeutumisenopeus lasketaan eri tavoin kuin mitä tässä tutkimuksessa on toteutettu.

### 5.6.3 Tuotetun mallin kyky kuvata todellista toimintaympäristöä

Tuotettua mallia on validoitu rinnan tulosten tuottamisen kanssa. Mallia ja sen tuloksia on validoinut LOGHU3-suunnittelu- ja ohjausryhmän jäsen Pekka Rautiainen, joka suunnitteli ja ohjasi tämän tutkimuksen tehtäväksiannon tuottaneen työryhmäkokouksen. Rautiainen on Finnsteven entinen tietotekniikkajohtaja ja vastannut Vuosaarenkin toimintaympäristöä kuvaavien mallien ja ohjelmistojen kehittämisestä.

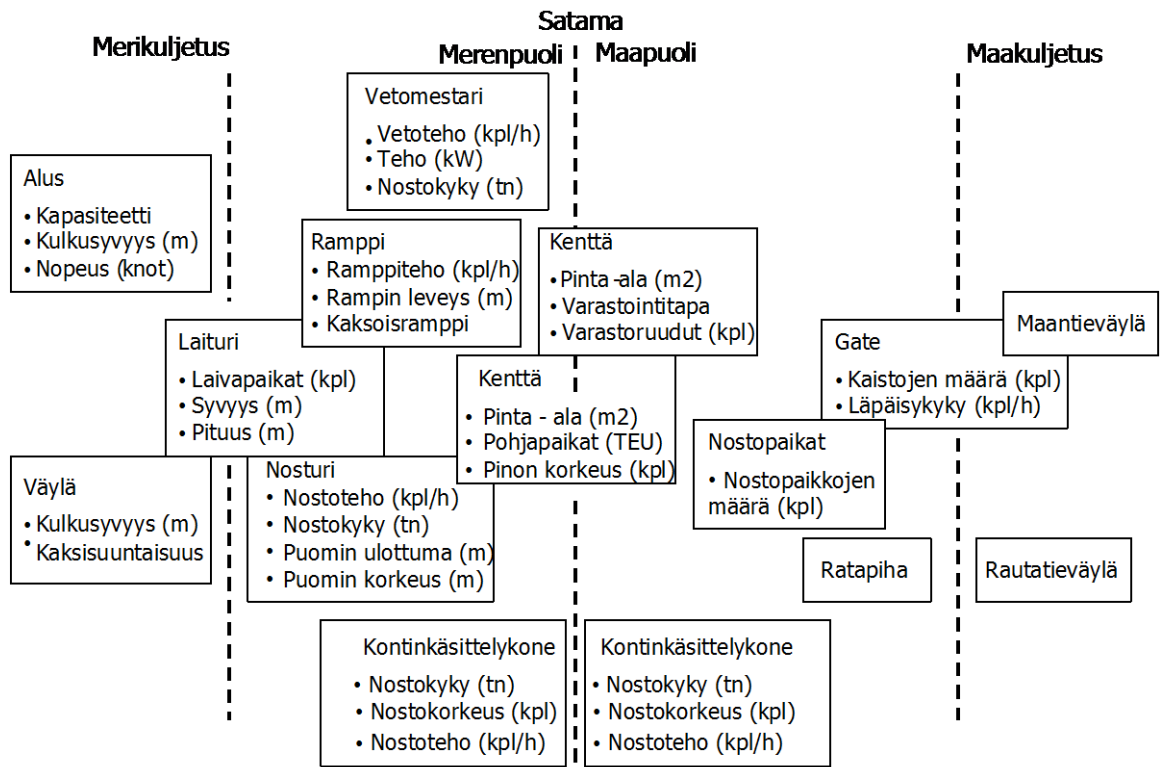
Sataman tuotantoprosessit on ryhmitelty kymmenisen vuotta kolmeen osaan, joita ovat ahtaus, terminaalikenttä ja nouto. Aluksen saapuminen ja tyhjentäminen eli ahtaus on erätuotantoa. Ahtaus pyrkii käsittelemään tuotantoerää mahdollisimman vakioidusti. Puoliperävaunujen vetäminen varastokentälle on työvaiheiltaan samanlaisena toistuvaa massatuotantoa, jonka ennustettavuus on korkeaa, lähes 98 prosentin tasoa. Asiakkaiden tilaamien puoliperävaunujen nouto varastokentän ruuduista on yksittäinen työ, jonka ennustettavuus on sataman tuotantoprosessissa kaikkein heikoin lenkki. Sataman toiminnan kolme erillistä osa-aluetta on havainnollistettu kuvassa 35 (Rautiainen, 2010). Kuvaus osa-alueista ei ollut käytettävissä tämän tutkimuksen toteuttamisen aikana. Kuvan 35 mukainen kuvaus tuotettiin osana valmiin työn evaluointia.



*Kuva 35 Sataman toiminnan kolme erillistä osa-aluetta*

Sataman liikennemäärän siirtoa toiseen satamaan rajoittaa sataman luontainen kapasiteetti. Satamaan siirrettävä liikennemäärä voi kaksinkertaistaa sataman luonnollisen liikennemäärän, mutta ei kymmenkertaistaa. Vuosaaren sataman volyymiä voidaan verrata muiden satamien volyymeihin kuorma-autojen, puoliperävaunujen ja konttikuljetusten osalta. Esimerkiksi Turku kykenee vastaanottamaan alle puolet Vuosaaren sataman puoliperävaunuliikenteestä, kun vertailuperusteena ovat toteutuneet liikennemäärät vuodelta 2009.

Sataman kapasiteetti suuryksikköliikenteessä määräytyy useiden osatekijöiden perusteella. Puoliperävaunujen käsittelyssä kapasiteettiin vaikuttavat eri resurssit kuin muiden kuljetusyksiköiden kuten konttien käsittelyssä. Vaikka konttisatamien tutkimustuloksia on paljon, niitä ei voida hyödyntää arvioitaessa lastilauttaliikennettä. Sataman kapasiteettiin vaikuttavia teknisiä osatekijöitä on havainnollistettu kuvassa 36 (Rautiainen, 2010). Kuvaus ei ollut käytettävissä tämän tutkimuksen toteuttamisen aikana. Kuvan 36 mukainen kuvaus tuotettiin 12.5.2010 tämän tutkimuksen satamaoperaattorin mallintamisen valmistuttua. Kuva esiteltiin tilaisuudessa, jossa ohjattiin työn tulosten loppuun saattamista.



Kuva 36 Sataman kapasiteettiin vaikuttavia osatekijöitä.

Osa resursseista on mahdollisia pullonkaularesursseja. Pullonkaularesurssit vaikuttavat tai voivat estää korvaavan sataman käytön. Jos vetomestareihin lisätään kapasiteettia, vetomestareiden kapasiteetin käyttöasteet saadaan alas. Vetomestareiden kapasiteettia on enemmän kuin tarvitaan, joten läpivirtaus ei muutu ja resurssi ei ole pullonkaularesurssi. Kapasiteetin lisäys vetomestareihin ei paranna kapasiteettijoustavuutta. Nykyinen kapasiteetin ylimäärä on mitoitettu operaattorin prosesseihin purkauksen aikana kohdistuviin häiriöihin.

Sataman kapasiteettia rajoittaa eniten vaatimus aluksen purkauksesta kello 11.00 mennessä. Jos liikennemäärät kasvavat, ramppiteho ja noutoteho ovat pullonkauloja. Mikäli noutoteho ei kasva, varastokentät ovat vaarassa tukkeutua. Mikäli ramppiteho ei kasva, alusta ei saada tyhjennettyä. Koko prosessin läpivirtauksen ja läpivirtausajan kannalta merkittävintä on noutojen tehostamisen. Jos samanaikaisesti osa lastista muutetaan puoliperävaunuista kuorma-autoiksi, satamaoperaattorin

kuormitus vähenee. Vetomatkat lyhenevät, maksimitehoa voidaan ylläpitää pidemmän aikaa. Jos alukset lisäksi lastataan purkauksen kannalta, satamaoperaattorin kuormitus vähenee edelleen.

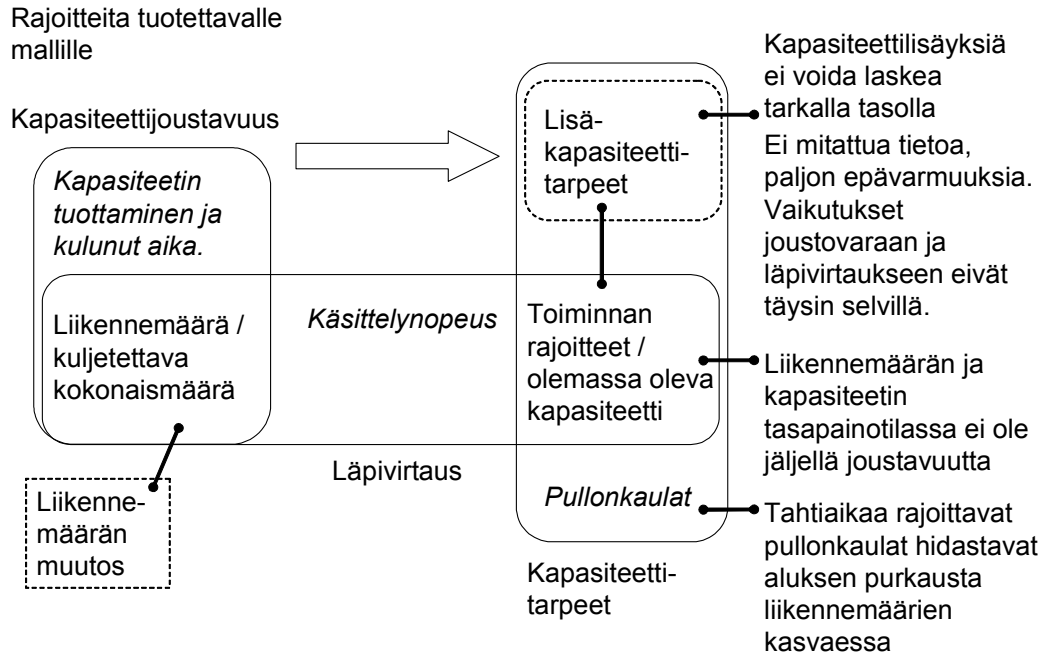
Turun sataman Pansion satamanosan infrastruktuuri on arvioitu tarkasti. Arviointia on tehty vuosina 2007 – 2009 (Helminen, 2010). Vuosaaren sataman liikennemäärien siirtämisestä on aiemmin arvioitu tilastollisesti. Tämän tutkimuksen tuloksia on käytetty, kun liikennemäärien siirtoa on aloitettu arvioimaan aluskäynteinä. Arviointitavan muutoksen jälkeen selvisi, että Pansion satamassa on vain yksi ramppi. Siten tutkimuksen lopputilanteessa liikennemäärien siirtämiseen käyttökelpoiset alukset on arvioitu tarkasti.

Tuotettua mallia arvioitiin Pääesikunnan logistiikkaosastolla 24.5.2010 pidetyssä kokouksessa, jossa työ ja tulokset esiteltiin käytettäväksi taustamateriaalina puolustusvoimien järjestämässä kertausharjoituksessa Kuljetus 2010 syyskuussa 2010.

#### 5.6.4 Ratkaisutapa

Tuotetun mallin rakenne perustuu teorian tuottamaan tietoon. Rakenne on visualisoitu kuvassa 37, jossa malliin on myös liitetty tunnistettuja epävarmuuksia. Mallin rakenne on suunniteltu tutkimuksen tavoitteena olevien lopputulosten eli mittaamisen ja mittareiden kannalta.

Malli on tuotettu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa mallinnettiin liikennemäärät, sataman infrastruktuuri ja satamaoperaattori. Tuloksena olivat kootut lähtötiedot, kuvatut prosessit, taulukoidut eri prosessivaiheissa tarvittavat tiedot ja kapasiteetin käytön laskentatavat. Tulokset sisälsivät yksityiskohtaista tietoa satamaoperaattorin prosessin etenemisestä. Mallintamisen toisen vaiheen käynnistyessä tuotetut taulukot ja laskentamallit siirrettiin liitteisiin. Jäljelle jääneet tiedot muokattiin teorian ohjaamaan muotoon. Työlle luotiin laskentamalli ja testisuunnitelma. Testattavat tilanteet kattoivat mallinnettavan prosessin tärkeimmät kapasiteettitarpeet.



*Kuva 37 Haasteita kapasiteettilisäysten laskennassa ja mallin tuottamisessa*

Tuotettava malli sisältää teorian perusteella tehtyjä rajoitteita. Esitetyn teorian mukaan kapasiteettitarpeet on koottava suuremmiksi kokonaisuuksiksi ja samantyyppistä kapasiteettia käyttäviksi yksiköiksi. Mallissa tämä on ratkaistu käsittelemällä liikennemääriä kuljetusyksiköinä eli kuorma-autoina ja puoliperävaunuina. Teorian mukaan joissain tilanteissa on mahdotonta mitata pullonkaulojen kapasiteettivarauksia koko toimitusketjun laajuisesti, analysoida kuljetettavia määriä ja samanaikaisia lisäkapasiteettitarpeita. Mallissa tämä on ratkaistu jakamalla malli kolmeen osaan, mittaamalla jokaisen osan tuloksia ja vertailemalla eri osien muutosten vaikutuksia muihin osiin. Teorian mukaan kapasiteettilisäysten laskenta perustuu käyttöasteen ja tehokkuuden selvittämiseen. Satamaoperaattori mittaa vain toteutuvaa kapasiteettia ja jättää suunnitellun ja tehokkaan kapasiteetin mittaamatta. Siten satamaoperaattorin tuottamilla tiedoilla ei voida laskea tuotoksia ja tehokkuutta. Kapasiteettilisäysten laskennan tulee toteutua muutoin.

Tutkimuksessa mallinnetaan liikennemäärien muutoksista aiheutuvia ongelmia. Teorian mukaan joustavuuden ja läpivirtauksen parantaminen

pienentää toimitusketjuun kohdistuvia muutosten ja häiriöiden vaikutuksia ja toiminnan epävarmuuksia. Tehokkaat kapasiteettilisäykset kohdistuvat siis joustavuuteen ja läpivirtaukseen. Pullonkauloista on selvittävää, mitkä pullonkaulat rajoittavat tahtiaikaa ja kohdistettava kapasiteettilisäykset niihin. Joustavuus, läpivirtaus ja kapasiteettilisäykset tulee laskea täyteen lastattujen alusten purkamisesta määrätyssä ajassa.

Mallintamisen tuloksena selvitetään pullonkaulat. Teorian mukaan pullonkauloista on tiedettävä, onko prosessin kaikki osat mitoitettu samalle tasolle. Lisäksi on tunnettava prosessin rajoitteet. Rajoitteista on tiedettävä, minkä osien kapasiteettikatto on saavutettu ja minkä osien sisältämät rajoitteet määräävät verkoston kapasiteetin. Myös mitoituservirheet on löydettävä, koska ylikapasiteetti aiheuttaa alhaisen käyttötason. Ohjauksesta on selvittävää, ohjataan pullonkauloja kuten ramppeja ja noutoja tarkalla tasolla, pidetäänkö pullonkaulojen käyttöaste maksimaalisena ja onko pullonkaulaan varattu kapasiteetin ylijäämää, jotta kokonaisjärjestelmä säilyttää joustavuutensa. Mikäli pullonkaula muuttuu eri viikonpäivinä, tarkastelu on tehtävä päiväkohtaisesti ja tarvittaessa myös aluskohtaisesti.

Testit ajetaan ja testien tulokset dokumentoidaan. Tulosten perusteella arvioidaan liikennemäärien siirtämistä Turkuun ja Turun sataman kykyä käsitellä siirtyvää liikennettä.

Ratkaisutavan rakentamista on ohjattu noin kahden viikon välein. Tärkein ohjaaja on ollut Finnsteven entinen tietohallintojohtaja Pekka Rautiainen. Keskusteluja on käyty myös Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen tutkija Reima Helmisen kanssa. Rautiainen on karsinut mallin rönsyilyä satamaoperaattorin maksimitehon käytön ja työnjohdollisten ongelmien puolelle. Helminen on taustoittanut Turun sataman kapasiteettiryhmien rakenteita vuosina 2007 – 2009 toteutetussa tutkimuksessa. Tutkimusyhteistyö kummankin kanssa jatkuu edelleen vuosina 2010 – 2012 sataman siirron mallintamisella.



### 5.6.5 Tuotettujen tietojen vastaavuus todelliseen toimintaympäristöön

Tuotetut tiedot perustuvat todellisen toimintaympäristön tietoihin, mutta tiedot on koottu ja käsitelty suurempina kokonaisuuksina. Tutkimuksen tarkoituksena ei ollut tuottaa tietoa päivittäisten ongelmien ratkaisemiseen. Tutkimuksessa tuotettiin suuntaa antavaa tietoa kapasiteetin mitoittamista varten. Esimerkiksi Vuosaaren sataman ulosajoväylien kapasiteetti laskettiin olevan huomattavan korkea, kun todellisuudessa koko sataman portista ajaa päivittäin noin 280 – 300 ajoneuvoa tunnissa.

Osa tutkimuksessa testatuista tilanteista on toteutunut myös todellisuudessa. Helsingin satama julkaisi tiedotteen 10/2010 INFO, jossa kerrottiin ahtaajien lakon vaikutukset Helsingin satamalle. Liikennemäärät ahtaajien lakon aikana eivät pienentyneet merkittävästi. Yksiköidyt kuljetukset puoliperävaunuilla vaihdettiin kuorma-autojen kuljetuksiksi ropax- ja matkustaja-aluksilla. Toimintamallia pidettiin erittäin käyttökelpoisena ja käyttöönotto voitiin toteuttaa nopeasti.

Noutojen määrän nopea vähentyminen on epätodennäköistä, mikäli kuljettajista ja kalustosta ei ole pulaa muualla. Noutojen määrän nopea kasvaminen on epätodennäköistä, mikäli varustamo ja satamaoperaattori eivät omista tarvittavaa kalustoa. Ramppitehon puolittuminen on epätodennäköistä, mikäli kalusto ei rikkoonnu ja työskentelyolosuhteet muutu vaikeiksi. Vetotehon muutosta ei voitu mallintaa, koska tarvittavia tietoja ei ollut käytettävissä. Ramppitehon, noutotehon ja vetotehon voimakkaat muutokset voivat kuitenkin toteutua, mikäli liikenne siirretään korvaavaan satamaan.

Sataman liikennemääriä on kasvatettu lokakuussa 2009 havaituista 2040 kuljetusyksiköstä 1030 kuljetusyksiköllä. Kasvu on tällöin 50 %. Satamaan ei välttämättä löydy lisää volyymiä muista satamista, koska satama vastaa suurta osaa Suomen yksiköidystä tavaraliikenteestä. Esimerkiksi taantuman aikana yksiköidyt kuljetukset eivät keskittyneet pienemmistä satamista suurempiin satamiin (Helsingin satama, 2009b).

Liikennemäärien kasvu liittyykin talouden kasvuun ja taantuman vaikutusten vähenemiseen. Jopa 50 % lisääntyvät liikennemäärät ja Vuosaaren satamassa asioivien alusten täyttäminen 100 % lastauskertoimeen asti on realistinen skenaario. Kuljetusyksikköjen määrä väheni vuonna 2009 taantuman takia 20 - 30 % verrattuna edellisvuoteen. Toukokuussa 2010 kuljetusmäärä on kasvanut 20 - 30 % taantuman pudottamista luvuista. Mikäli talous lähtee kasvuun, + 50 % kasvumäärä verrattuna vuoteen 2009 voidaan saavuttaa.

#### 5.6.6 Siirrettävyyden ja käyttökelpoisuuden arviointi

Mallintamisessa käytetty työn osittelu on ollut pitkään satamaoperaattorin käytössä. Työn evaluoinnin yhteydessä todettiin, että satamaoperaattorin mallintamisessa nousevat samat ongelmat aina uudelleen esiin. Kaikkiin satamiin sopivia osatekijöitä ovat liikennemäärät, ramppiteho, vetoteho ja noudot varastokentältä. Tarkemmin kuvattu laskentamalli voisi kattaa operaattorikohtaiset toimintatapojen erot. Mallin laskentatapoihin ei sisällytetty tunnistettuja variaatioita puoliperävaunun purkauksen prosessista. Siten malli voi olla siirrettävissä muihin satamiin ja käyttökelpoinen, mikäli sataman prosessit eivät poikkea paljoa Vuosaaren sataman prosessista ja kapasiteettitarpeista.

Malli on tarkoitettu lastilauttaliikenteen prosessien ja kapasiteettitarpeiden arviointiin. Sataman liikennemääristä on selvitettävä aluskäyntien tiheys eri reiteillä ja alusten kuljettamat lastit sekä alusten tekniset ominaisuudet, jotta voidaan laskea purettava kapasiteetti kaistametreinä ja kuljetusyksikköinä sekä ramppiteho ja vetoteho.

Sataman varastokenttiä oletetaan voivan käyttää samalla tavalla kuin mitä malliin on kuvattu. Sataman kulkuväyliä ei ole mallinnettu, koska niiden kapasiteetti on suurempi kuin ramppiteho ja riittää varastokentän purkamiseen kello 11.00 mennessä myös lauantain ja sunnuntain kuormien jälkeen maanantaiaamuna.

Vetomestareita ei ole mallinnettu tarkalla tasolla, koska vetomestareista ei ole pulaa. Mikäli vetomestarien määrä on pullonkaula, mallinnustapa muuttuu. Tällöin vetomestareita eli pullonkaulaa on voitava ohjata tarkasti.

Noutoprofiili on erilainen eri satamissa. Jos ajomatkat asiakkaiden terminaaleihin pitenevät, alusten purkaus voidaan joutua aloittaman aikaisemmin.

Kaikilla satamilla ei ole vaatimuksena purkauksen valmistuminen kello 11.00 mennessä. Mikäli tärkein tuotetun laskentamallin peruste muuttuu, laskentamallia on muokattava uusien vaatimusten mukaisesti.

## 6 Johtopäätökset

Sataman kapasiteettijoustavuus on sataman aluskäyntien ja sataman läpi virtaavien kuljetusmäärien käsittelykyvyn ylimäärä, jolla satama sopeutuu muutoksiin. Kapasiteettia lisätään yleensä portaittain käsittelymäärän kasvaessa. Kapasiteettilisäyksen jälkeen sataman kapasiteetissa on joustovaraa.

Sataman kapasiteettijoustavuus tuotetaan useiden erilaisten toimijoiden ja osajärjestelmien yhteistyönä. Kapasiteettilisäyksiä voivat tuottaa varustamo, satamanpitäjä, satamaoperaattori ja kuljetusyritys. Sataman osajärjestelmät ovat kalliita investointeja, joiden kapasiteetin on oltava tuottavassa käytössä. Ylimäärää ei ole mahdollista ylläpitää käyttämättömänä.

Sataman läpivirtausta ei voi moninkertaistaa. Liikennemäärien moninkertaistaminen edellyttää purkupaikkojen lisäämistä ja tehokkaampaa purkausta ja lastausta. Kuljetusmäärien moninkertaistaminen voidaan hetkellisesti toteuttaa vaihtamalla puoliperävaunut tehokkaammin käsiteltäviin kuorma-autoihin.

Sataman kapasiteettijoustavuus mitoitetaan tutkittavan tilanteen liikennemäärille ja purkauksen nopeusvaatimuksille. Kapasiteettijoustavuus rakennetaan käyttämällä riittävän suuria ja tiheästi liikennöiviä, tehokkaasti purettavia ja lastattavia aluksia, tehokkaita rampeja, riittävää määrää vetomestareita ja kuljetusmäärille mitoitettuja varastokenttiä. Yhteistyötä kuljetusyritysten kanssa kehitetään, jotta liikennemäärät varastokentillä ja väylillä saadaan tasaisiksi ja jonoja ei pääse muodostumaan.

Kun satama tai satamaoperaattori toimii keskimääräisellä käyttöasteella, prosesseihin ei synny läpivirtausta heikentäviä pullonkauloja. Pullonkaulat tulevat esiin, kun sataman tai satamaoperaattorin käyttöasteet nousevat korkeiksi.

Sataman kapasiteetin pullonkaulojen ja joustovaran selvittäminen sisältää useita eri vaiheita. Kapasiteetista on tiedettävä mitoituksen perustana olevat liikennemäärät, sataman infrastruktuurin asettamat rajoitteet ja pullonkauloja tuottavat prosessit. Alusten purkausnopeuden vaatimukset aiheuttavat suurimmat haasteet sataman kapasiteetin joustavuudelle. Toiminnan nopeusvaatimuksista ei todennäköisesti luovuta, joten lastit on purettava tukkukaupan jakelurunkoja varten nopeasti, jotta ne ehtivät perille asiakkaalle kello 11.00 mennessä.

Tutkimuksessa kasvatettiin sataman liikennemääriä. Luotu tilanne vastaa häiriötä, jossa pienempien satamien toimintaa keskitetään häiriötilanteessa suurempaan satamaan. Lopuksi myös suuremman sataman toiminta häiriytyy ja liikennemäärät pyritään siirtämään yhteen tai useampaan vaihtoehtoiseen satamaan. Tätä siirtoa tutkittiin Turun sataman Pansion satamanosan ja Länsisataman liikennemäärillä ja sataman infrastruktuurilla. Satamaoperaattorin toimintaa ei selvitetty.

Tutkimuksessa sovellettiin Littlen lakia läpivirtauksen ja läpivirtausajan selvittämiseksi. Kun liikennemäärät kasvoivat, läpivirtaus sataman infrastruktuurin läpi kasvoi. Tällöin satamaoperaattorin käsittelyajan on lyhennettävä, mikäli alusten purkauksen nopeusvaatimuksesta ei luovuta. Yksittäisen aluksen purkamisnopeutta ei voi kasvattaa lisäämällä työkoneita vaan kehittämällä toimintatapoja.

Vuosaaren sataman liikennemäärien ja pullonkaulojen selvittämisen jälkeen arvioitiin, voidaanko liikenne ohjata purettavaksi Turun satamassa. Suuressa satamassa kuten Vuosaarella tutkitun satamaoperaattorin toimintatavat on mitoitettu päivittäisille suurille liikennemäärille. Pienessä satamassa kuten Turun satamassa satamaoperaattorin toimintatavat mitoitetaan harvemmin saapuvien alusten purkamiselle.

Purettavien puoliperävaunujen määrät vaihtelevat viikonpäivittäin. Mikäli alusten purkamiselle ei aseteta nopeusvaatimuksia Turun satamassa, puoliperävaunut voidaan purkaa hitaammin. Kun puoliperävaunujen

purkamisen läpivirtausaika pitenee ja läpivirtaava määrä tuntia kohti on pienempi, myös kapasiteettitarpeet ovat pienemmät.

Satamaoperaattorilta saatiin koko purkausta kuvaavia mittaustietoja. Maksimitehon käytön kehittämisestä ei ollut havaintoja. Kun liikennemäärät reititetään kulkemaan pienempien satamien kautta, sataman kokoa ei voida kasvattaa. Satama voi tukkeutua nopeasti ja purkausta täytyy hidastaa. Tällöin purkausaika pitenee ja sataman kyky toimia korvaavana satamana heikkenee. Ulkomaankaupan tuonnin ja viennin reiteistä on tällöin päätettävä, käsitelläänkö kaikilta reiteiltä jonkin verran aluksia vai keskitytäänkö määrättyihin reitteihin.

Sataman ja satamaoperaattorin kapasiteetit joustavat, mikäli purkausajan yläraja joustaa. Sataman infrastruktuurissa on ramppeja suurtenkin alusmäärien käsittelyyn, jos satamaoperaattori voi porrastaa alusten purkauksen ja pääosa alusten lastista on kuorma-autoja.

Pitäytymällä kiinteisiin toimintatapoihin aluksen purkauksen aikana satamaoperaattori ei saavuta maksimaalista kapasiteettilisäystä. Luopumalla vakiintuneesta toimintatavasta ja siirtymällä tilannekohtaiseen toimintatapaan kapasiteettia voidaan lisätä. Tosin samalla häiriöherkkyys kasvaa, joten pullonkaulaa on ohjattava tarkalla tasolla. Tämä asettaa uusia vaatimuksia tietojärjestelmille, työnjohdolle ja vetomestareille. Myös kuljetusyritysten on joustettava, joten sataman kapasiteettijoustavuuden vaatimus toteutetaan paitsi sataman, myös sataman palveluja käyttävien toimijoiden yhteistyönä.

Logistiikan siirtyminen kaikilla toimialoilla seitsemän päivän työviikkoon pienentää sataman kokovaatimuksia, mikäli varastokentälle puretut puoliperävaunut noudetaan purkupäivänä. Satamanpitäjä ja satamaoperaattorit tulevat todennäköisesti sopeuttamaan sataman kapasiteettijoustavuuden nykyistä pienemmille viikonpäivittäisille vaihteluille. Tämä vähentää kapasiteetin joustovaraa, jota edellytetään poikkeuksellisissa tilanteissa.

## Lähdeluettelo

Kirja:

Ahuja, Ravinda K.; Magnanti, Thomas L.; Orlin, James B.; (1992) Network flows: theory, algorithms, and applications. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 846 sivua.

Bowersox, Donald J.; Closs David J.; Cooper, M. Bixby (2007) Supply chain logistics management. McGraw-Hill, Boston, MA. 644 sivua

Heizer, Jay; Render, Barry (2006) Operations management. Pearson Education, Upper Saddle River, NJ. 806 sivua

Karhunen, Jouni; Pouri, Reijo; Santala, Jouko (2008) Kuljetukset ja varastointi – järjestelmät, kalusto ja toimintaperiaatteet. Saarijärven Offset Oy. 437 sivua.

Krajewski, Lee L.; Ritzman, Larry P. (2005) Operations management: processes and value chains. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 830 sivua.

Lowe, David (2005) Intermodal freight transport. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford, Iso-Britannia. 270 sivua.

Shapiro, Jeremy F. (2006) Modeling the supply chain. Thomson / Brooks/Cole, Belmont, CA. 608 sivua.

Simchi-Levi, David; Kaminsky, Philip; Simchi-Levi, Edith (2007) Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies. McGraw-Hill/Irwin, Boston, MA. 354 sivua.

Slack, Nigel; Chambers, Stuart; Johnston, Robert (2010) Operations management. Pearson Education, Harlow. 686 sivua

Stadtler, Hartmut; Kilger, Christoph (2005) Supply chain management and advanced planning: concepts, models, software and case studies. Springer, Berlin. 512 sivua.

Stevenson, William J.; (2009) Operations management. McGraw-Hill/Irwin, Boston, MA. 906 sivua.

Vollmann, Thomas; Berry William; Whybark, David Clay; Jacobs, Robert F. (2004) Manufacturing planning and control for supply chain management. McGraw-Hill/Irwin, Boston, MA. 736 sivua

Artikkeli tieteellisessä lehdessä:

Bontekoning, Y. M.; Macharis, C.; Trip J. J.; 2004. Is a new applied transportation research field emerging? - A review of intermodal rail - truck freight transport literature. Transportation research part A 38 (2004) sivut 1 - 34.

Jaržemskienė, Ilona; 2007. The evolution of intermodal transport research and its development issues. Transport, Vol. XXII, No. 4, sivut 296–306

Macharis C. ; Bontekoning YM. ; 2004. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: a review. European journal of operational research 153. Sivut 400 - 416.

Styhre, Linda; 2009. Strategies for capacity utilisation in short sea shipping. Maritime economics & logistics Vol. 11, 4, sivut 418–437

Artikkeli ammattilehdessä:

Härkönen, Jari; Keto-Tokio, Juha; 2008. Fluidiautomaation järjestelmätoimitus on monen osan yhteensovittamista. Fluid Finland, hydraulikka, pneumatiikka, voitelu. 3/2008. Suomen Lehtiyhtymä Oy. Sivut 8 – 10.



Artikkeli kokoomateoksessa:

Caris, An; Macharis, Cathy; Janssens, Gerrit K.; 2008. Planning problems in intermodal freight transport: accomplishments and prospects. Transportation planning and technology, Volume 31 Issue 3. 37 sivua

Christiansen, M.; Fagerholt, K.; Nygreen, B.; Ronen, D.; 2007. Chapter 4 Maritime transportation. In: Barnhart, Cynthia; Laporte, Gilbert. Transportation. Handbooks in operations research and management science, Vol 14. Elsevier, Amsterdam. Sivut 189 – 284.

Crainic, Teodor Gabriel; (2002) Chapter 13 Long-haul freight transportation. In: Hall, R.W. Handbook of transportation science. Second edition. Kluwer, Boston. Hall, sivut 451 – 516

Crainic, Teodor Gabriel; Kim, Kap Hwan; 2007. Chapter 8 Intermodal transportation. In: Barnhart, Cynthia; Laporte, Gilbert. Transportation. Handbooks in operations research and management science, Vol 14. Elsevier, Amsterdam. Sivut 467 – 538.

Konferenssiartikkeli:

Walton, M. C.; 1993. Advancing multimodal transportation systems, the 10th CAETS Convocation. In: Woxenius, Johan; Lumsden, Kenth R.; 1994. System and functional requirements for roro cassettes in multimodal transport. RoRo 94, Gothenburg, Ruotsi, huhtikuu 26 - 28. BLM Business Meetings Ltd, Englanti. 10 sivua.

Woxenius, Johan; Bergqvist, Rickard; 2007. Hinterland transport by rail – a success for maritime containers but still a challenge for semi-trailers. Logistics research network annual conference 2007. Liverpool, UK. 10th-12th September 2008. University of Gothenburg. 6 sivua.

Woxenius, Johan; Lumsden, Kenth R.; 1994. System and functional requirements for roro cassettes in multimodal transport.

Konferenssipaperi RoRo 94, Gothenburg, Ruotsi, huhtikuu 26 – 28 1994. BLM Business Meetings Ltd, Englanti. 10 sivua.

Raportti:

Brooks, Mary R, Frost, James D., 2009. Short sea developments in Europe: lessons for Canada. Working papers No 10. North American transportation competitiveness research council. North American center for transportation studies. Arizona state university. 23 sivua.

Estonia loppuraportti, 2000. Loppuraportti MV ESTONIAN onnettomuudesta 28 päivänä syyskuuta 1994. Luku 10.3 Lastikansien rakenteet. Edita, Helsinki. Sivut 143 – 146.

Helsingin satama, 2009b. Vuosikertomus 2009

Helsingin satama, 2010c. Service handbook. Port of Helsinki 2010

Klodzinski, Jack; Al-Deek, Haitham M; 2004. Methodology for modeling a road network with high truck volumes generated by vessel freight activity from an intermodal facility. Transportation research record no. 1873. The Transportation Research Board. Washington D. C. Sivut 35 – 44.

Liikenne- ja viestintäministeriö 1998. Satamien tavaravirrat, toimintakapasiteetti ja kehitystarpeet. Yhteenvedo. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 21/1998. Espoo. Lähteessä Pöllänen et al., 2005.

Liikenne- ja viestintäministeriö 1999. Lastinkäsittelyn automatisointi ja mekanisointi Suomen satamissa ja suomalaisissa aluksissa. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2/1999. Espoo. Lähteessä Pöllänen et al., 2005.

Liikenne- ja viestintäministeriö; 2001. Market structure of port services in certain European ports. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 49/2001. Espoo. Lähteessä Pöllänen et al., 2005.

Liikenne- ja viestintäministeriö; 2004. Satamatoimintojen kehittäminen ja satamia koskevan lainsäädännön uudistaminen. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 65/2004. Espoo. 112 sivua.

Pöllänen, Markus; Säily, Stiina; Kalenoja, Hanna; Mäntynen, Jorma 2005. Merenkulku ja satamatoiminnot. Tampereen teknillinen yliopisto. Opetusmoniste 39. 171 sivua.

Rytkönen, Jorma; Ulmanen, Tommy; 2009 Katsaus Intermodaalikuljetusten käsitteisiin. Merikotka-projekti. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Kotka. 37 sivua.

Santala, Jouko; 1989 Kauppamerenkulku ja satamatoiminnot. Espoo. Lähteessä Pöllänen et al., 2005.

Sähköinen julkaisu:

Helsingin satama. 2009a. Vuosaaren satamakeskus. Toiminnallinen yleissuunnitelma 30.1.2009. Piirustus nro: Vu TOI 9000-81-101 versio P. [WWW] Helsingin satama. 2010. [Viitattu 15.3.2010] Saatavilla: [http://www.finnsteve.fi/uploads/Vuosaari%20kartta%2030\\_2.1.2009.pdf](http://www.finnsteve.fi/uploads/Vuosaari%20kartta%2030_2.1.2009.pdf)

Helsingin satama. 2010a. Vuosaaren satamakeskus. Asiointiopus ammattikuljettajille. [WWW] Helsingin satama. 2010. [Viitattu 15.3.2010] Saatavilla [\[http://www.portofhelsinki.fi/content/pdf/julkaisut/Rekkaopas\\_versio3\\_valmis.pdf?from=11423242037412055\]](http://www.portofhelsinki.fi/content/pdf/julkaisut/Rekkaopas_versio3_valmis.pdf?from=11423242037412055) 16 sivua.

Helsingin satama. 2010b. Yleiskartta 2, Vuosaaren satama. [WWW] Helsingin satama. 2010. [Viitattu 15.3.2010] Saatavilla: [http://www.portofhelsinki.fi/content/pdf/vuosaari\\_luonnos/Kartta\\_satama-alueesta\\_09.pdf?from=11415653434570822](http://www.portofhelsinki.fi/content/pdf/vuosaari_luonnos/Kartta_satama-alueesta_09.pdf?from=11415653434570822)

Helsingin satama, 2010d. Vuosaaren sataman ilmakeku. Helsingin sataman mediapankki. Kuvaajaa ei ilmoitettu. Kuvaan liitetty satamaoperaattorit, varustamot ja terminaalit: Pekka Rautiainen, tilanne 2009 lokakuussa.

Orne, Tapio. 2008. Puoli vuotta Vuosaareen, operaattorin palvelut. Logistics 2008 17.4.2008. 19 sivua. Saatavilla [http://www.skaf.fi/files/2913/Puoli\_vuotta\_Vuosaareen\_-\_operaattorin\_palvelut\_Orne\_Tapio.pdf]

Portnet. Valtakunnallinen alusliikenteen aikataulu. [WWW] [Viitattu 15.3.2010] Saatavissa: <http://www.portnet.fi/finnish/> Kohta Meriliikenteen tietojärjestelmät/Sovellukset – Intermodal Portal liikennetietokanta.

Rauman satama. Käsikirja 2010. Asiointiohje. [WWW]. [Viitattu 15.5.2010] Saatavilla: <http://www.raumansatama.fi/>. 96 sivua.

Turun satama. 2010. Saatavilla [www.portofturku.fi](http://www.portofturku.fi)

Säädös:

L 11.12.2002/1090 Ajoneuvolaki 15§ 3.4.2009/226

Euroopan Unioni, 2003. KOM/2003/0155 lopull. - COD 2003/0056 Ehdotus: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi intermodaalisista lastausyksiköistä

Euroopan Unioni, 2009. EU:n direktiivi 2009/42/EY, 6.5.2009 Tavaroiden ja matkustajien merikuljetuksia koskevista tilastoista.

OECD, 2001. Terminology on combined transport. The Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) ja the European Conference of Ministers of Transport (ECMT) and the European Commission (EC)/ECE. New York ja Geneve, 2001. 71 sivua.

VNp 27.08.2008/539 Valtioneuvoston päätös huoltovarmuuden tavoitteista.

Haastattelu:

Helminen, Reima. 2009. FM. Tutkija. Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus. Tutkimushankkeessa TTKPROTO 2007/Puolustusvoimat vuosina 2007 – 2010. Turun sataman kapasiteetti ja kyky vastaanottaa Vuosaaren sataman tavaravirrat. Tutkija on

tuottanut mallin ja tiedot Turun sataman eri satamanosien toiminnasta ja pullonkauloista vakavissa häiriötilanteissa. Tutkija on koonnut tässä tutkimuksessa käytetyistä lähtötiedoista tarkan tason tiedot ja käyttänyt useita lähteitä. Esimerkiksi taulukon 53 1) tarkat tiedot ovat lähteestä ShipPax Designs06 saatavilla <http://www.shippax.se/order/product.asp?id=56>

Huoltovarmuuskeskus, 2010. Useita operaattoreita maa- ja merikuljetuksista. Huoltovarmuuskeskuksen järjestämä työpaja 3.3.2010 liittyen Kuljetus 2010-maanpuolustusharjoituksen valmisteluihin. Tilaisuudessa tuotettiin arvioita logistiikan toimintakyvystä vakavassa häiriötilanteessa.

Rautiainen, Pekka. 2010. HuK, vanhempi konsultti, Talent Partners. Aiemmin tietotekniikkajohtaja, Finnsteve, vastannut Vuosaarenkin toimintaympäristöä kuvaavien mallien ja ohjelmistojen kehittämisestä. Tutkimushankkeessa TTKPROTO 2007/Puolustusvoimat ja tutkimuksessa LOGHU3/Huoltovarmuuskeskus. Tammikuussa tarkistettiin teorian pohjalta luotu intermodaalikuljetuksen verkostomalli. Maaliskuussa 2010 tarkistettiin puoliperävaunujen purkamisen prosessi ja perusteet satamaoperaattorin tuotannon ohjaamiseen sekä tuotettavan ratkaisumallin soveltuvuus toimintaympäristön todellisiin ongelmiin. Huhtikuussa tarkistettiin satamaoperaattorin haastattelusta tuotettu teksti ja erityisesti alusluokkien merkittävyys tuotetussa ratkaisussa.

Takanen, Veli. 2010. Suunnittelupäällikkö, Finnsteve. Vuosaaren sataman Gatehouse, Finnsteve. Haastattelu työhön tehtävän mallin yksityiskohdista 12.4.2010. Nykytila-analyysin tuottamisen jälkeen järjestetty haastattelu, jossa tuotettiin lähtötiedot satamaoperaattorin mallintamista varten.

Styhre, Linda. 2010. M.Sc., Lic.Eng. Projektipäällikkö SSPA Research Sweden Ab, Chalmers, Göteborg. Sähköposti 20.4.2010 Strategies for capacity usage in short sea shipping. Tutkija valmistelee väitöskirjaa lähimerenkulun kapasiteetin käytöstä. Lähteessä (Styhre, 2009) kuvattiin

lastilauttalaivojen kapasiteetin täyttöasteita. Sähköpostin vastauksessa Styhre selvensi yhdelle aluskäyntikerralle käytettävää lastauskerrointa, sen laskentatapaa ja ylärajaa sekä myös vaikeuksia satamaoperaattorin kapasiteetin laskentatavassa.

Julkaisematon lähde:

Juhala, Matti. Maantie- ja rautatiekuljetukset ja kalusto. 24.10.2007. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. Luentoaineisto TKK/Kul-24.3000 Kuljetusvälinetekniikan perusteet. 42 sivua

Laivan konseptisuunnittelu, lastinkäsittely. 12.10.2009. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. Luentomateriaali TKK Kul-24.3100 Ship Conceptual Design.

Finnlines, 2010a. Laivat ja kalusto, alukset. 15.3.2010. [[http://www.finnlines.com/index.php/freight\\_fin/laivat\\_ja\\_kalusto/alukset](http://www.finnlines.com/index.php/freight_fin/laivat_ja_kalusto/alukset)]

Finnlines, 2010b. Rahti, laivausehdot. 15.3.2010. [[http://www.finnlines.com/index.php/freight\\_fin/asiakastuki/laivausehdot/p-eraevaunuehto\\_icc](http://www.finnlines.com/index.php/freight_fin/asiakastuki/laivausehdot/p-eraevaunuehto_icc)]

Finnsteve, 2009a. Lokakuun 2009 laivakäynnit. Tilasto.

Finnsteve, 2009b. Vuositilasto. Laivakäynnit.

Finnsteve, 2010a. Vuosiraportti. Kuljetusyritysten palvelun nopeus.

Finnsteve, 2010b. Tuotantosuunnitelma 12.4.2010.

Finnsteve, 2010c. Stevis. Finnsteven tiedotus ja uutislehti. 12.4.2010.

Finnsteve, 2010d. Vetomestareiden työskentelytehokkuus satamakohtaisesti. 12.4.2010.

Makkonen, Teemu; Helminen, Reima; Rinkinen, Satu. Toimialojen käyttämät suuryksiköt Suomen ulkomaankaupan merikuljetuksissa. 2009. Merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskus. Turun yliopiston erillislaitos. Menetelmäkuvaus. 6 sivua.

Vasama, J. Matkustajalaivojen arkkitehtuuri. 12.2.2010. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. Luentomateriaali TKK Kul-24.4350. 73 sivua.

Vuoristo, Jouko. Vesiliikenne. 1994. Teknillinen korkeakoulu, Espoo. Luentomateriaali TKK/Yhd-71.170. Lähteessä Pöllänen et al., 2005

Artikkeli sähköisessä lehdessä:

Kuorma-autojen yhdistelmätyypit Euroopassa. 2010. Metsäalan ammattilehti, koneurakointi, kuljetus, teollisuus. [verkkolehti] Uutiset. 05.01.2010 [15.3.2010] <http://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?824>

Rahtarit ry. 2010. Ennakoiva ajaminen raskaalla ajoneuvolla. Rahtarit. [Verkkolehti]. [Viitattu 15.3.2010] Saatavuus <http://www.rahtarit.fi/pdf/tonneittain.pdf>

Ohje:

Kuorma-autoliikenteen yleinen satama-asiointiohje. 2006. Satamaoperaattorit ry, Suomen Satamaliitto ry, Suomen Kuljetus ja Logistiikka SKAL ry. 8 sivua

# Liitteet

## 1 Lähtötiedot

### 1.1 Nykytilan analyysin ja satamaoperaattorin mallintamisen taulukot

Taulukon 9 lähteenä on käytetty Finnsteve (2009a).

*Taulukko 9 Varustamon pääreitit, liikennöinti ja alusluokat Vuosaaren satamanosassa.*

Reitti	Käyntikerrat viikossa, lokakuu 2009	Alusluokka
Travemünde - Helsinki Helsinki - Travemünde	Kuusi käyntikertaa: tiistai, keskiviikko, torstai, perjantai, lauantai ja sunnuntai	4216 kaistametriä
Gdynia - Helsinki - Gdynia	Kaksi käyntikertaa: torstai ja lauantai	4216 kaistametriä
Gdynia – Helsinki – Travemünde Travemünde – Helsinki – Gdynia	Kaksi käyntiä maanantaina	4216 kaistametriä
Liikenne Tanskaan ja Ruotsiin	Kolme käyntikertaa: maanantai, torstai ja lauantai	2606 kaistametriä
Muista vastasatamista	Kaksi käyntikertaa: tiistai ja sunnuntai	Tiistai 1690 sunnuntai 1278 kaistametriä
Muita reittejä	Noin kaksi käyntikertaa viikossa: maanantai, tiistai, lauantai tai sunnuntai	1890 tai 3200 kaistametriä

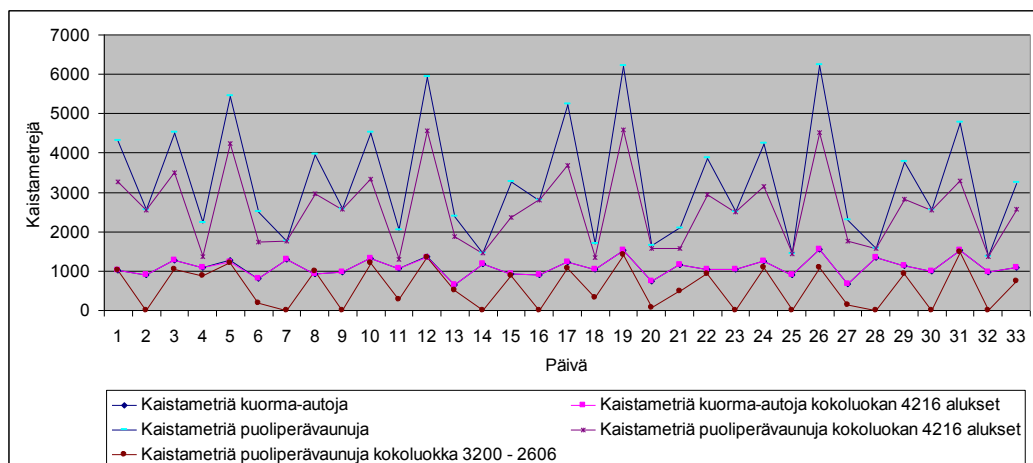
Taulukon 10 lähteenä on Portnet.

*Taulukko 10 Varustamon käyntikerrat ja alukset Vuosaaren ja Turun satamiin 1.10. – 1.11.2009*

Alustyyppi	Alus	Maksimaaliset kaistametrit	Käyntikertoja
Ropax	Finnstar	4216	13 (Vuosaari)
Ropax	Nordlink	4216	10 (Vuosaari)



Alustyyppi	Alus	Maksimaaliset kaistametrin	Käyntikertoja
Ropax	Finnmaid	4216	10 (Vuosaari)
Ropax	Finnlady	4216	9 (Vuosaari)
Ropax	Europalink	4216	9 (Vuosaari)
Roro	Longstone	2606	7 (Vuosaari)
Roro	Beachy Head	2606	7 (Vuosaari)
Roro	Finnforest	2100	7 (Turku)
Roro	Antares	2090	7 (Turku)
Roro	Transeuropa	3200	4 (Vuosaari)
Roro	Birka Carrier	1690	4 (Vuosaari)
Roro	Finnkraft	1890	3 (Vuosaari)
Roro	Finnhawk	1890	3 (Vuosaari)
Roro	Birka Transporter	1278	3 (Vuosaari) 4 (Turku)
Roro	Birka Trader	1690	2 (Vuosaari)
Roro	Birka Express	1690	2 (Vuosaari)
Roro	Baltica	2170	3 (Turku)



**Kuva 38 Lastit alusluokittain lokakuussa 2009 roro-tuontikuljetuksissa Vuosaaren satamaan.**

Kuvan 38 ja taulukon 11 lähteenä on Finnsteve (2009a).

**Taulukko 11 Esimerkki käytetystä kapasiteetista ja lastauskertoimesta yhdellä aluskäynnillä.**

Alus Finnstar	Yksiköitä kpl	Pituus 1)	Käytetty tila 2)	Pituus 3)	Käytetty tila 4)
Kuorma-autoja	30	16,5	495	17,0	510
Puoliperävaunuja	160	13,6	2176	14,7	2352
Lauttavaunuja	15	12,0	180	12,5	188
Kasetteja	15	12,0	180	12,5	188

Alus Finnstar	Yksiköitä kpl	Pituus 1)	Käytetty tila 2)	Pituus 3)	Käytetty tila 4)
Tyhjiä lauttavaunupinoja	15	12,0	180	12,5	188
Uusia autoja	50	6,0	300	6,5	325
Sääkansirontteja 3 päällekkäin	15	9,0	135	9,5	143
Yhteensä kaistametrejä			3646		3892
<b>Lastauskerroin</b>					<b>92,3 %</b>

1) Kuljetetun yksikön oma pituus kaistametriä

2) Yksiköiden viemät kaistametrit ilman sidonnan tarvitsemaa tilaa ja kulkuväyliä yksiköiden välillä

3) Kuljetetun yksikön sidonnan tarvitsema pituus kaistametriä

4) Todelliset käytetyt kaistametrit ja lastauskerroin

Taulukon 11 esimerkki on lastattu lähes täyteen, koska lastauskerroin on 92,3 %. Vapaata tilaa on 7,7 % eli 325 kaistametriä, tai kuljetusyksiköiksi muunnettuna 22 kpl puoliperävaunua. Aluksella on neljä kantta, joten jokaiselle kannelle voidaan enää lastata viisi puoliperävaunua. Aluksen pituus tarkistettiin kohdasta 3.2.5, joten aluksen jokaisella kannella olisi yhdellä kaistalla tilaa kaksi kolmasosaa kaistan pituudesta. Kaikki muut kannet ja kaistat olisivat täyteen lastattuja.

Taulukon 12 lähteenä on Finnsteve (2009a). Liikennemääriä on kasvatettu tämän tutkimuksen tarkoituksiin.

*Taulukko 12 Saapuvat alukset, kuljetusyksiköt ja yksikkömäärät.*

Päivä	Alus kaistametriä	Kuljetusyksiköt	Yksikköjä (KET) kpl
Perjantai	4216	Kuorma-autoja	56
		Puoliperävaunuja	176
		Muita yksiköitä	42
Lauantai	4216	Kuorma-autoja	67
		Puoliperävaunuja	130
		Muita yksiköitä	13
Lauantai	4216	Kuorma-autoja	10
		Puoliperävaunuja	93
		Muita yksiköitä	64
Lauantai	2606	Kuorma-autoja	0
		Puoliperävaunuja	80
		Lauttavaunuja	35
		Uusia autoja	10

Sunnuntai	4216	Kuorma-autoja	60
		Puoliperävaunuja	93
		Muita yksiköitä	3
Sunnuntai	1690	Kuorma-autoja	0
		Puoliperävaunuja	30
		Lauttavaunuja	60
		Uusia autoja	20
		Sääkansikontteja	60
Maanantai	4216	Kuorma-autoja	37
		Puoliperävaunuja	142
		Muita yksiköitä	37
Maanantai	4216	Kuorma-autoja	46
		Puoliperävaunuja	162
		Muita yksiköitä	38
Maanantai	2606	Kuorma-autoja	0
		Puoliperävaunuja	80
		Lauttavaunuja	35
		Uusia autoja	10
Maanantai	3200	Kuorma-autoja	0
		Puoliperävaunuja	10
		Muita yksiköitä	20

Taulukon 13 - 14 lähteenä on Takanen (2010).

*Taulukko 13 Purkausnopeudet eri lastilajeille.*

Purettava	Ramppiteho kaksoisrampilla	Ramppiteho leveällä maarampilla	Ramppiteho kapealla maarampilla
Kuorma-autot	200	100	100
Puoliperävaunut	50	25	<25
Lauttavaunut	50	25	<25
Kasetit	50	25	<25
Tyhjät lauttavaunujen niput	50	25	<25
Uudet autot	60	60	60
Sääkansikontit	20 (nosturi)	20 (nosturi)	20 (nosturi)

*Taulukko 14 Ramppitehoon vaikuttavia tekijöitä.*

Tekijä	Vaikutus
Satamassa on kaksoisramppi ja alus käyttää	Aluksia lastataan ja puretaan kaksoisramppien kautta. Aluksilta puuttuu yläkansilta alakansille johtava ramppi. Näin lastin kuljettamiseen jää enemmän kaistametrejä.

Tekijä	Vaikutus
kaksoisramppia	
Satamassa ei kaksoisramppia	Kaksoisrampille rakennettu alus voidaan täyttää vain puolilleen, koska yläkansia ei voi purkaa maarampin kautta. Samalla ramppiteho puolittuu.
Sataman maarampin kapeus	Rampilla on kahden kaistan sijasta yksi kaista. Leveää peräramppia ei voi liittää kapeaan maaramppiin. Kapea maaramppi heikentää ramppitehoa tai estää rampin käytön.
Aluksen perärampin kapeus	Pääkannen ja muiden kansien välillä sijaitsevat rampit kaventavat ulosajoon varattua tilaa perärampin sivusta. Rampilla on yksi kaista. Jonottaminen vapautuvalle rampille heikentää ramppitehoa.
Aluksen asento	Purkauksen aikana perän keveneminen edellyttää aluksen asennon muuttamista vettä pumppaamalla. Aluksen perärampin ja laituripaikan maarampin on pysyminen samassa tasossa vaikuttaa ramppitehoon.
Kaistoja kansilla	Kannelle mahtuu kerralla työskentelemään vain rajattu määrä vetomestareita
Aluksen sisäisten ramppien kapeus	Aluksen sisäisiä ramppeja pitkin mahtuu kulkemaan vain yksi vetomestari. Kokoluokassa 4216 ja 3200 kansilla 1 ja 4 voi olla enintään 3 vetomestaria, joista yksi palaa tyhjänä, toinen poistuu täytenä ja kolmas kiinnittää yksikköä. Muissa aluksissa on 3 kantta ja 6 vetomestaria, joista kansilla 1 ja 3 enintään 2, toinen palaamassa tyhjänä ja toinen menossa täytenä.

Taulukon 15 lähteenä on Finnlines (2010a).

*Taulukko 15 Vuosaaren ja Pansion sataman liikenteessä lokakuussa 2009 käytettyjen alusten ramppien rajoitteet.*

Alus-tyyppi	Alus	Kaista-metrit	Pituus m	Sisä-rampit	Perä-ramppi
Ropax	Finnstar	4216	218,8	1)	3)
Ropax	Nordlink	4216	218,8	1)	3)
Ropax	Finnmaid	4216	218,8	1)	3)
Ropax	Finnlady	4216	218,8	1)	3)
Ropax	Europalink	4216	218,8	1)	3)
Roro	Longstone	2606	193	2)	4)
Roro	Beachy Head	2606	193	2)	4)
Roro	Finnforest	2100	156	2)	4)
Roro	Antares	2090	157,6	2)	4)
Roro	Transeuropa	3200	183	2)	3)
Roro	Birka Carrier	1690	154,5	2)	4)
Roro	Finnkraft	1890	162,2	2)	4)
Roro	Finnhawk	1890	162,2	2)	4)
Roro	Birka Transporter	1278	122	2)	4)

Alus-tyyppi	Alus	Kaista- metrit	Pituus m	Sisä- rampit	Perä- ramppi
Roro	Birka Trader	1690	154,5	2)	4)
Roro	Birka Express	1690	154,5	2)	4)
Roro	Baltica	2170	157	2)	4)

1) Ei kansien 2 ja 3 välillä, kansien 3 ja 4 purkaus ainoastaan kaksoisrampin yläramppiin. Sisärampin pituus 40 m saadaan kertomalla kansien etäisyys 5 m ja rampin pituus 8 m yhden metrin pudotuksessa. (Takanen, 2010)

2) Kaikkien kansien välillä, koko alus puretaan perärampin kautta. Sisäiset rampit ovat kapeita. (Takanen, 2010)

3) Leveä, puretaan kaksoisramppiin, kaksinkertainen ramppiteho verrattuna vain maarampin kautta purkaviin aluksiin (Takanen, 2010).

4) Purkaminen kapean maarampin kautta. Pääkannen ja muiden kansien välillä sijaitsevat rampit kaventavat ulosajoon varattua tilaa perärampin sivusta. Kaksoisrampin yläramppia ei voi hyödyntää. (Takanen, 2010)

Taulukon 16 lähteenä on Takanen (2010).

*Taulukko 16 Sataman ramppien vaikutus alusten ramppitehoon ja kykyyn lastata ja purkaa täysiä aluksia.*

Aluskoko kaistametriä	Vuosaari 1)	Pansio 2)	Länsisatama 3)
4216	50 / 100 %	25 / 50 %	<25 / 50 %
3200	50 / 100 %	25 / 100 %	<25 / 100 %
2606	25 / 100 %	25 / 200 %	<20 - 25 / 100 %
2170 - 1890	25 / 100 %	25 / 100 %	<20 - 25 / 100 %
1278	<25 / 100 %	<25 / 100 %	<20 - 25 / 100 %

1) Ramppiteho / aluksen täyttöaste Vuosaaren kaksoisrampilla

2) Ramppiteho / aluksen täyttöaste Pansion leveällä maarampilla

3) Ramppiteho / aluksen täyttöaste Turun Länsisataman kapealla maarampilla

Taulukon 17 lähteenä on Helsingin satama (2009a) ja Takanen (2010).

*Taulukko 17 Satamaoperaattorin puoliperävaunukentät Vuosaarella.*

Kenttä	Koko %	Kokoruutuja	Etäisyys laituriiin m	Käytössä C-laiturille
The Sunrise Wall, kaksoisrampin alaramppi VC1	9,3 %	100	40 - 200	Päivittäin
Kaksoisrampin yläramppi VC1			Pituus 120 m	
Trailer Road, kaksoisrampin alaramppi VC2	13,2 %	143	40 - 200	Päivittäin
Kaksoisrampin yläramppi VC2			Pituus 120 m	
The Sunrise Wall, etummainen varakenttä	6,3 %	68	200 - 280	Viikoittain
Trailer Road, etummainen varakenttä	22,2 %	240	200 - 380	Viikoittain
Taaempi varakenttä	12,8 %	138	380 - 500	Harvemmin
VF3 vierus	12,8 %	138	20 - 200	F-laiturille
V10 alue	8,6 %	93		F-laiturille Reefer-trailerit
VF4 vierus	14,8 %	160	20 - 200	G-laiturille
Yhteensä	100,0 %	1080	20 - 500	

*Taulukko 18 Varastokentän rivien yhteismäärän laskeminen*

Pv	Rivejä	Kalanruotorivejä	Läpiajettavia
150	$150 / 36 = 4,2$	2	1
250	$250 / 36 = 6,9$	3	1

*Taulukko 19 Satama-alueen ulosajon läpivirtaus*

Ajonopeus km/h	Tahtiaika sekuntia	Kaistan läpivirtaus rekkoja tunnissa	Läpivirtaus kuudelta kaistalta
20	31,2	115	707

*Taulukko 20 Varastokentältä varattujen ruutujen laskeminen*

Päivä	Alus kaista- metriä	Kuljetusyksiköt	Yksikköjä (KET) kpl
Perjantai	4216	Puoliperävaunuja	16
		Muita yksiköitä	3
Lauantai	4216	Puoliperävaunuja	130
		Muita yksiköitä	13
Lauantai	4216	Puoliperävaunuja	93
		Muita yksiköitä	64
Lauantai	2606	Puoliperävaunuja	80
		Lauttavaunuja	35
		Uusia autoja	10
Sunnuntai	4216	Puoliperävaunuja	93
		Muita yksiköitä	3
Sunnuntai	1690	Puoliperävaunuja	30
		Lauttavaunuja	60
		Uusia autoja	20
		Sääkansirontteja	60
Yhteensä		Puoliperävaunuja	442
		Lauttavaunuja	95
		Muita kuljetusyksiköitä	173

*Taulukko 21 Alusten purkausaika maanantaiaamuna  
satamainfrastruktuurin rajoitteilla eli ramppiteholla laskettuna*

Koko	Ka kpl	Pv kpl	Muu kpl	Ka min	Pv min	Muu min	Yht. min	Purkaus
4216	38	146	50	11	175	60	247	7.00 – 11.07
4216	46	162	50	14	194	60	268	7.00 – 11.30
2606	0	80	32	0	192	77	269	14 – 18.30
3200	0	10	15	0	24	36	60	6 - 7

*Taulukko 22 Kapasiteettijoustavuus, rajoitteet ja pullonkaulat*

Liikenne	Satama	Satama- operaattori	
Aluskäyntien määrä lisääntyy ja alukset on täyteen lastattu,	Satama- infrastruktuurin kapasiteetti joustaava ylöspäin,	Tahtiaika joustaava alaspäin	Läpivirtausaika ei muutu ja purkaus valmistuu kello 11.00 mennessä

Liikenne	Satama	Satama-operaattori	
purettava erä koko kasvaa	kunnes saavutetaan yläraja		
		Tahtiaika ei muutu	Läpivirtausaika pitenee ja aluksen purkaus ei valmistu kello 11.00 mennessä
	Satama-infrastruktuuri ei jousta ylöspäin	Tahtiaika ei muutu	Satama ruuhkaantuu
		Tahtiaika pitenee ja prosessit hidastuvat	Läpivirtaus pienenee
Suuri osa lastista on kuorma-autoja	Kuorma-autot ovat heti perärampin takana ja ajavat nopeasti ulos. Alus on laiturissa vain lyhyen aikaa	Kuormitus ja kapasiteettitarpeet vähenevät	Läpivirtaus kasvaa ja läpivirtausaika lyhenee
Suuri osa lastista on puoli-perävaunuja	Alus on laiturissa pitkään	Kuormitus ja kapasiteettitarpeet kasvavat	Läpivirtaus pienenee ja läpivirtausaika pitenee

## 1.2 Vuosaaren sataman lokakuun 2009 laivakäynnit

Liikennemäärät satamanosittain ja alusluokittain koottiin Portnet ylläpitämästä liikennetietokannasta (Portnet). Aluskäyntien lastirakenne ja vaihdossa käsitellyt kappalemäärät selvitettiin tutkittavasta yrityksestä (Finnsteve, 2009a). Laskelmiin lisättiin tieto alusten kokoluokasta (Finnlines, 2010a).

Aluksista purettu yksiköt eivät selvinneet aineistosta. Satamaoperaattorin ilmoittamat osuudet 60 % purettavia ja 40 % lastattavia vaihdossa yhteensä käsitellyistä määristä tuottivat laskelmiin epätarkkuutta.



Merenkululaitoksen (1.1.2010 alkaen liikennevirasto) satama- ja kuljetusvälinekohtaiset tilastot vuodelta 2009 ja syyskuun - lokakuun ajalta tuottivat vaihdossa purettujen ja lastattujen kappaleiden suhteelliset osuudet. Tiedot tuotettiin vertaamalla lokakuun ja syyskuun kumulatiivisia tietoja. Vuonna 2009 vaihdossa purettiin keskimäärin 51 % ja lastattiin 49 % kappaleista paitsi lokakuussa, jolloin purettiin 55 % ja lastattiin 45 %. Satamaoperaattorin suurimman volyymin osalta Gdyniasta tuleva osuus oli selvästi pienempi kuin Travemündestä, joten ensimmäiselle käytettiin vuositason, jälkimmäiselle kuukausitason osuutta.

Aluksista puretut kappalemäärät laskettiin käyttämällä vaihdossa puretuille kerrointa 0,55 paitsi Gdyniasta puretuille 0,51. Laskelmien tarkkuustaso parani. Purettujen lastien käyttämä osuus aluksen kaistametreistä laskettiin käyttämällä taulukossa 1 tuotettuja tietoja kuljetusyksikköjen pituudesta ja sitomisen tilantarpeesta.

$V(n, \text{kpl})$  = Aluskäyntikerran vaihdossa puretut ja lastatut kuljetusyksiköt yhteensä, esimerkiksi kuorma-autot

$P(n, \text{kpl})$  = Aluskäyntikerran yhteydessä puretut kappalemäärät

$L(n, \text{kaistametriä})$  = Kuljetusyksikön pituus

$S(n, \text{kaistametriä})$  = kuljetusyksikön sitomisen tilantarve

$P(n, \text{kaistametriä})$  = Aluskäyntikerran yhteydessä puretut kaistametrit kuljetusyksiköitä

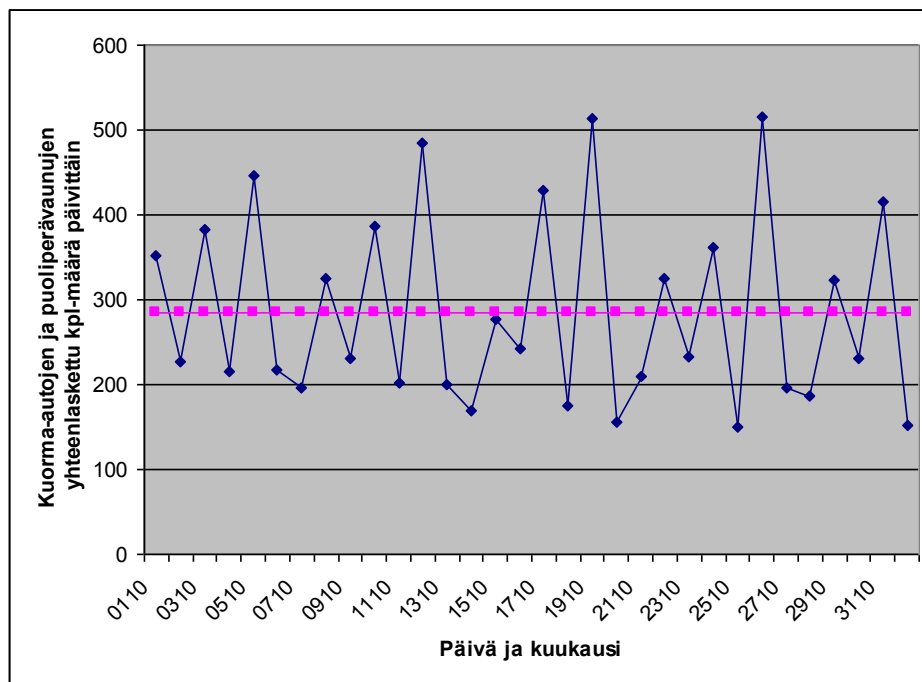
$P(n, \text{kpl}) = V(n) * 0,55$

$P(n, \text{kaistametriä}) = P(n, \text{kpl}) * (L(n) + S(n))$

Tuotetut tiedot yhdistettiin päivä-, viikonpäivä-, viikko- ja kuukausitasolle sekä yhteensä että alusluokittain. Tuloksena saatiin myös keskimääräinen aluskoko kaistametreinä ja purettuna lastina.

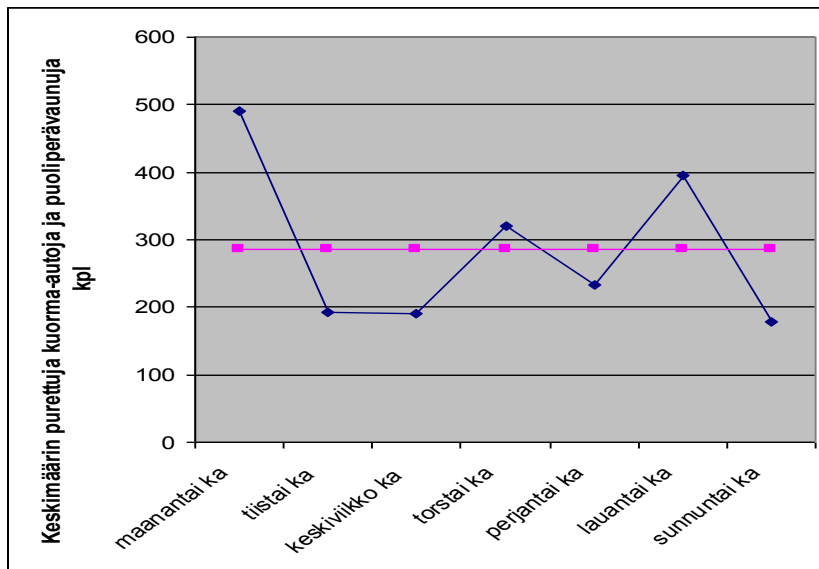
Tuotetut tiedot analysoitiin. Tavoitteena oli tunnistaa riittävä tarkkuustaso, joka ei aiheuttaisi merkittävää virhettä mallintamista varten tuotettaviin liikennemääriin. Merkittävänä virheenä pidettiin tilastollisesti laskettujen aluskäyntikertojen yli 15 % poikkeamaa satamaoperaattorin ilmoittamista tiedoista.

Viikkotasolla aluksista purettu kappalemäärät olivat kahden prosentin vaihteluvälin sisällä. Päivätasolla vaihtelu oli voimakasta ja vain yksi havaintopäivä osuu keskiarvoon. Poikkeamat olivat jakautuneet tasaisesti kumpaankin suuntaan. Päivakohtaisista tiedoista tuotettua keskiarvoa ei tulosten perusteella voi käyttää Vuosaaren sataman liikennemäärien yleistykseen.



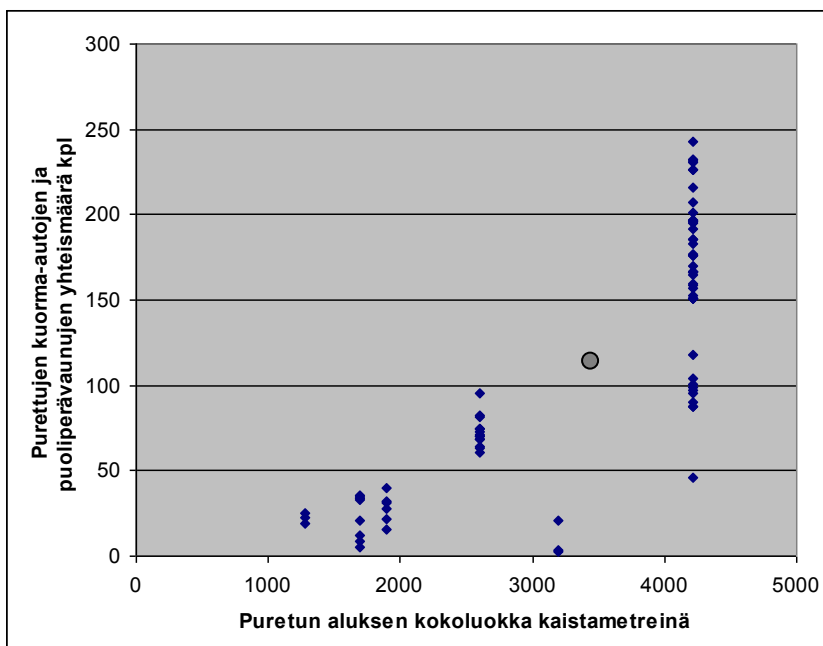
*Kuva 39 Kuljetettavien yksiköiden kappalemäärien vaihtelu lokakuussa 2009*

Purettava lasti vaihteli viikonpäivittäin 20 – 70 % keskimääräisen viikonpäivän lastista. Vuosaaren sataman liikennemääristä selvitettiin syyt vaihteluihin eri viikonpäivinä.



*Kuva 40 Purettavan lastin viikonpäivittäinen vaihtelu ja keskiarvo*

Liikennemäärät analysoitiin eri kokoluokan aluksille. Aluksista purettujen kuorma-autojen ja puoliperävaunujen yhteismäärä vaihtelee voimakkaasti suurissa aluksissa.

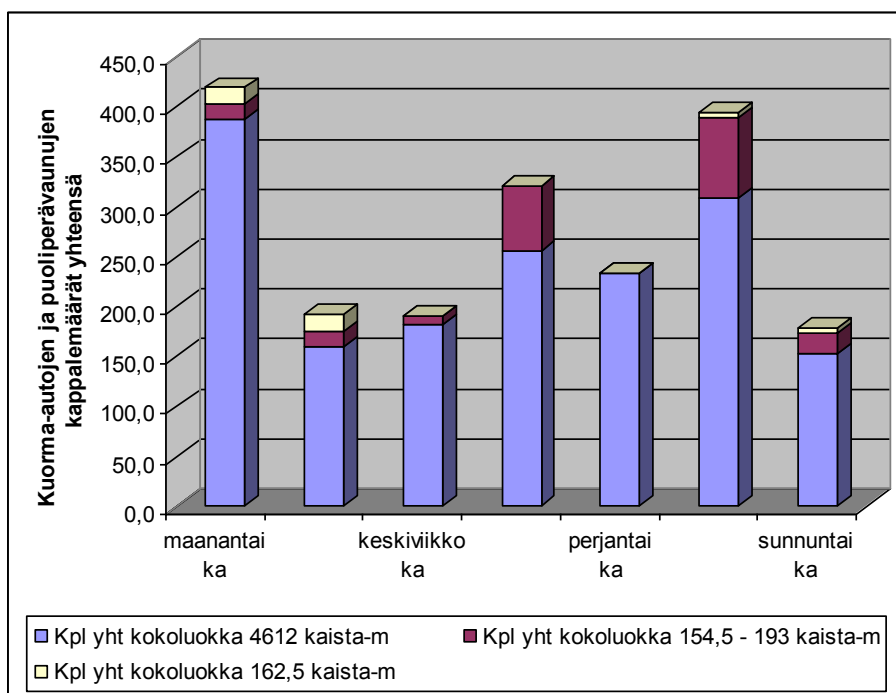


*Kuva 41 Aluksista purettujen kappalemäärien vaihtelu alusluokittain verrattuna keskimääräiseen alukseen*

Laskennallinen keskimääräinen aluskoko oli 3374 kaistametriä ja 114 kpl purettua kuorma-autoa ja puoliperävaunua. Lähes 80 % toteutuneista

aluskäyntikerroista poikkesi yli 20 % tilastollisesti lasketusta aluskäyntikerrasta. Tilastoista laskettu aluskäynnin rakenne näytti siten kuormittavan sataman kapasiteettia vähemmän kuin päivittäin liikennöivät todelliset alukset. Johtopäätöksenä oli, että tilastoista johdettujen tietojen käyttäminen tuottaa virheellisiä tietoja kapasiteetin kuormittumisesta. Tutkimuksessa edellytetään tarkempaa tarkastelua.

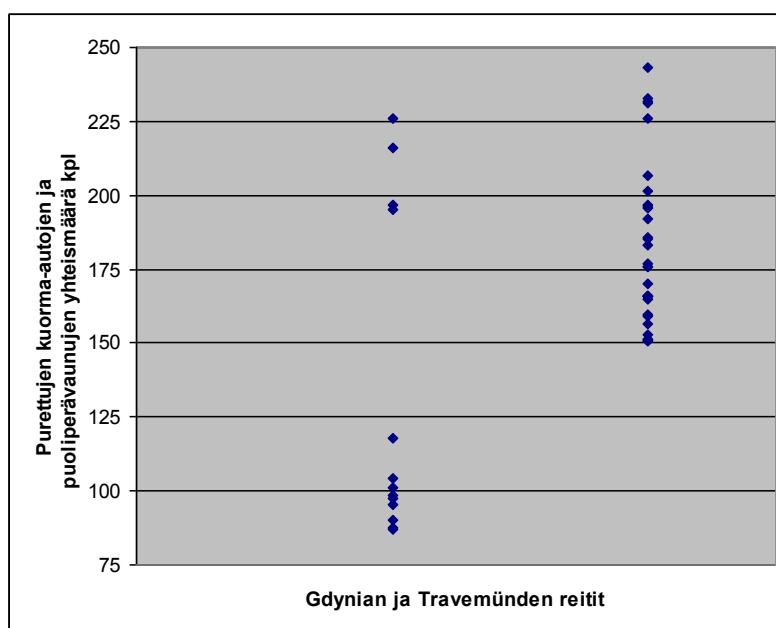
Poikkeamien syyt selvitettiin. Lähes kaikki kuorma-autot ja pääosa puoliperävaunuista kuljetetaan 4216 kaistametrin aluksissa. Kokoluokassa 4216 kaistametriä kuorma-autojen ja puoliperävaunujen purkaus kuormittaa eniten sataman kapasiteettia maanantaina, torstaina ja lauantaina.



*Kuva 42 Purettu lasti alusluokittain ja viikonpäivittäin vertailtuna*

Jotta liikennemäärät voitiin muodostaa, alusluokan aluksille tehtiin reittikohtainen tarkastelu. Liikennemääriä analysoitiin sekä purettavina yksiköinä että alusten kaistametrin käyttöasteina. Travemünden reitillä purettiin yhdellä aluskäyntikerralla 150 – 250 yksikköä, joko kuorma-autoa tai puoliperävaunua. Mikäli kaikki yksiköt kuljetettiin puoliperävaunuina, aluksen kaistametreistä käytettiin 52 – 87 %. Mikäli

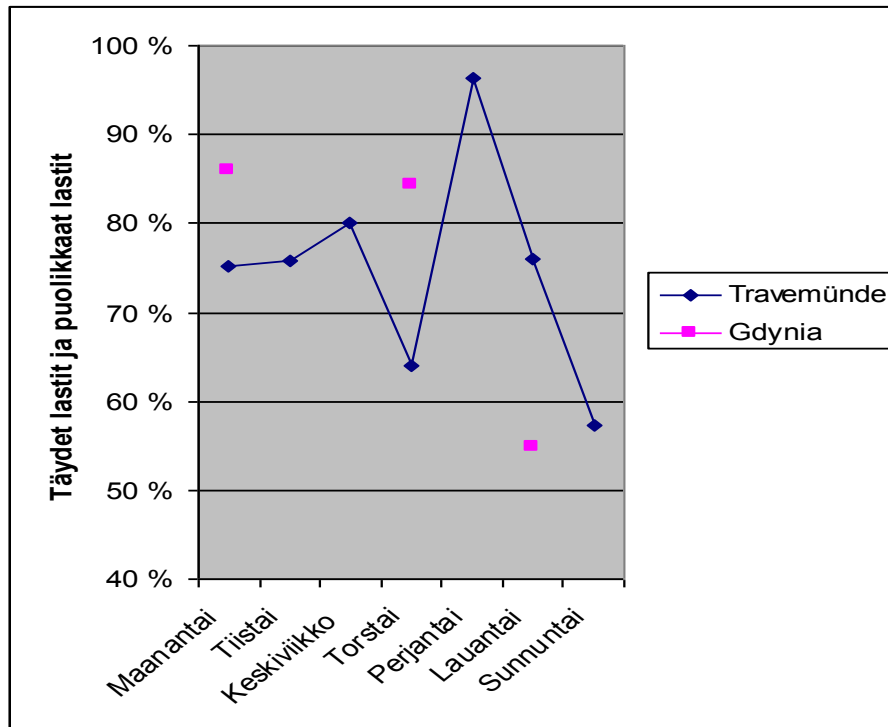
kaikki puretut yksiköt käsiteltiin kuorma-autoina, aluksen kaistametreistä käytettiin 60 – 100 %. Gdynian reitillä vaihteluväli oli 75 – 130 purettua yksikköä eli 26 – 44 % aluksen kokonaiskaistametreistä puoliperävaunuina tai 30 – 50 % aluksen kokonaiskaistametreistä kuorma-autoina kuljetettuna. Travemünden reitin alukset ajoivat pääosin täysiä lasteja paitsi torstaina. Gdynian reitillä osa aluksista oli täytetty vain puoliksi. Tulokset vastasivat satamaoperaattorilta suullisesti saatua tietoa Gdynian satamassa puuttuvasta kaksoisrampista ja aluksien lastaamisesta maarampin kautta vain alemmille kansille.



*Kuva 43 Puretut kappalemäärät 4216 kaistametrin aluksissa eri reiteillä*

Travemünden ja Gdynian reittien väliset erot saatiin esiin viikonpäivittäin tarkasteltaessa. Kokoluokan 4216 kaistametriä aluksilla ajettiin päivittäin yksi täysi lasti kuorma-autoja ja puoliperävaunuja Travemündestä. Gdyniasta ajettiin täysi lasti maanantaisin ja puolikkaat torstaisin ja lauantaisin. Tulokset muuttuivat vertailtaessa kaikkia purettuja lastilajeja eikä pelkästään kuorma-autoja ja puoliperävaunuja. Star-luokan aluksilla ajettiin maanantaina kaksi lähes täyttä lastia, tiistaista lauantaihin yksi täysi lasti ja lisäksi puolikas tai lähes puolikas lastia torstaina, lauantaina ja sunnuntaina. Puolikkaita tai lähes puolikkaita lasteja saapui sekä Gdynian että Travemünden reiteiltä.

Travemündestä saapui tasaisesti kuorma-autoja ja puoliperävaunuja kaikkina viikonpäivinä. Torstaina ja sunnuntaina saapui selvästi normaalia vähemmän lauttavaunuja, kasetteja ja uusia autoja. Gdynian reitiltä purettiin torstaina paljon uusia autoja. Tästä syystä torstaina alus oli täynnä, vaikka kuorma-autoilla ja perävaunuilla tarkasteltuna alus näytti puolikkaalta.



*Kuva 44 Kokoluokan 4216 kaistametriä aluksista puretut kuormat vertailtuna kaistametriekokonaismäärillä*

Huoltovarmuudelle merkittävässä häiriötilanteissa muita lastityyppejä saapuu todennäköisesti vähemmän ja kuljetuksissa keskitytään kuorma-autojen ja puoliperävaunujen lastaamiseen ja purkamiseen.

### 1.3 Turun sataman liikennemäärät

Pansion satamasta liikennöitiin Travemündeeseen säännöllisesti kolme kertaa viikossa lokakuussa 2009. Travemündestä Turkuun liikennöitiin viisi kertaa viikossa. Tiistaina ja keskiviikkona ei Pansion satamassa ollut liikennettä. Pääosa Pansion sataman liikenteestä oli tutkitun

satamaoperaattorin purkamaa, satamanosassa purettiin lokakuussa 2009 vain viisi muuta alusta. Pansion satamanosaan liikennöivät reitit ja aluskäyntien määrät on koottu taulukkoon 23 (Portnet; Finnsteve, 2009a).

*Taulukko 23 Varustamon pääreitit, liikennöinti ja alusluokat Pansion satamanosassa.*

Reitti	Käyntikerrat viikossa, lokakuu 2009	Alusluokka
Travemünde - Turku - Travemünde	Kolme käyntikertaa: maanantai, torstai ja lauantai	Finnforest ja Antares
Travemünde – Helsinki Vuosaari - Turku – Rauma Travemünde – Turku – (Helsinki) 1)	Kaksi käyntikertaa: Helsingistä maanantaina Turkuun ja Raumalle, torstaina Turusta (Helsinkiin) 1)	Maanantaina Birka Transporter, torstaina Baltica

*1) Tutkittu satamaoperaattori Helsingissä ei ole käsitellyt aluksen lastia lokakuun 2009 laivakäyntien tilastossa. Alusta on käsitellyt joku muu satamaoperaattori.*

Tutkimuksessa tarkastellaan myös Turun kantasataman osaa Länsisatama. Länsisatamassa kävi yksi alus joka toinen tai kolmas päivä. Satamanosan aluskäyntien kokonaismäärä oli 1.10. – 1.11.2009 välisenä aikana 12 kpl. Aluskäynneistä kolme oli tutkitun varustamon, loput muiden varustamoiden. (Portnet)

Huhtikuussa 2010 liikenne Pansion satamasta oli muuttunut. Maanantaisin saapui ja lähti yksi alus. Toinen alus kävi 1 - 2 kertaa viikossa varaten laiturin kahdeksi päiväksi. Kolmas alus purki tuontikuormat, jatkoi Raumalle ja palasi lastaamaan Saksaan lähtevät vientikuormat. Tiedot on koottu taulukkoon 24 (Portnet).

*Taulukko 24 Pansion sataman ja Saksan välinen roro-linjaliikenne huhtikuussa 2010.*

Viikko/vuosi	Viikonpäivä	Reitti	Alus
15 / 2010	Maanantai 12.4	Travemünde -	Baltica

Viikko/vuosi	Viikonpäivä	Reitti	Alus
		Rauma	
15 / 2010	Tiistai 13.4 - keskiviikko 14.4	Travemünde - Travemünde	Finnforest
15 / 2010	Torstai 15.4	Travemünde - Rauma	Finnhawk
15 / 2010	Lauantai 17.4	Rauma - Lübeck	Finnhawk
15 / 2010	Lauantai 17.4 - sunnuntai 18.4	Travemünde - Travemünde	Finnforest

### 1.3.1 Aluskäynnit

Vuosaaren sataman liikennemäärät ovat alusten koon, liikennöintitiheyden ja lastauskertoimen tulo. Turun satamaan on löydettävä riittävä määrä purettavaksi sopivan kokoisia aluksia, jotka voivat ajaa tarvittavaa vauhtia ja ylläpitää alusaikataulujen mukaista frekvenssiä (Rautiainen, 2010). Pelkkä alusten kuljetuskapasiteetin ja purettavuuden vertailu ei siis riitä, vaan vertailussa on tarkistettava alusten kyky tuottaa tarvittavat satamakäynnit. Kun alusten lukumäärä muuttuu ja satamakäyntien määrä kasvaa, Turun satamaan syntyy uusia pullonkauloja. Näitä ovat ramppien, laitureiden ja satamapalvelujen riittävyys.

Turun satamassa tutkitun satamaoperaattorin ruuhkaisia päiviä olivat maanantai ja torstai (Portnet). Turun satamaan saapuu taulukon 23 aluskäynnit ja taulukon 10 alusten kaistametrin. Satamaan saapuu viikossa 10240 kaistametriä eli puoliperävaunuiksi muutettuna 696 kpl. Vuosaaren sataman volyymi on puoliperävaunuiksi muutettuna noin 2040 kappaletta viikossa. Liikennemäärien siirtäminen Turkuun ei ole teknisesti mahdollista, kun käytetään samoja aluksia. Turkuun jää sataman teknisen tason takia siirtymättä kolmasosa Vuosaaren volyymistä eli kaikkien kokoluokan 4216 kaistametriä kaksi ylintä kantta. Turkuun siirtyvät liikennemäärät kolminkertaistavat sataman liikenteen. Tämä ei todennäköisesti ole mahdollista.



Siirtyvä liikennemäärä arvioidaan käyttämällä alusten kaistametrejä ja aluskäyntejä. Vuosaaren sataman liikenne sisältää 2 x 4216 kaistametrin aluksia, 2606 ja 1690 kaistametrin alukset. Lastauskerroin on 95 % ja aluksissa on yhteensä 12100 kaistametriä. Turkuun ei voida siirtää purettavaksi 4216 kaistametrin alusten kahta ylempää kantta, koska ne on suunniteltu purettaviksi vain kaksoisrampeilla. Turkuun voidaan siirtää purettaviksi 2 x 2108, 2606 ja 1690 kaistametriä. Siirtymättä jää 2 x 2108 kaistametriä eli 35 %.

### 1.3.2 Alusten korvattavuus

Siirtoon valittava aluskoko ratkaisee siirrettävät määrät. Suurimmat määrät voidaan siirtää täyteen lastatuilla 3200 tai 2606 kaistametrin aluksilla. Ensiksi mainitulla voidaan siirtää kuorma-autoja ja kuljettajia, jälkimmäisellä ei. Kokoluokan 4216 kaistametriä alus voidaan purkaa ja lastata vain puoliksi, koska aluksessa ei ole sisäisiä rampeja.

Mikäli Vuosaaren sataman liikenne siirrettäisiin Turkuun, kokoluokan 4216 kaistametriä alukset olisi korvattava muilla aluksilla, jos varustamo ei aja puoliksi lastatuilla aluksilla kannattavuussyistä.

Yhtä 4216 kaistametrin alusta korvaamaan tarvitaan esimerkiksi kolme kappaletta Kantasataman alueella purkavia Birka-luokan aluksia. Pansion sataman alueelle purkavia muita aluksia tarvittaisiin kolme aluskäyntikertaa korvaamaan kaksi 4216 kaistametrin aluksen käyntikertaa. Esimerkiksi Finnkraft ja Finnhawk käyntikertoja tarvitaan kaksi, jotta korvataan yksi 4216 kaistametrin aluksen käyntikerta.

Yhden viikon aikana Star-alusluokan käyntikertoja on 10, aikarahdattuja on 5 ja muiden alusten käyntikertoja on 2. Star-luokan alusten käyntikertojen korvaamiseen tarvittaisiin joka toinen päivä kolme Birka-luokan alusta, joka toinen päivä kolme 2600 kaistametrin aikarahdattua alusta. Lisäksi tulisi säilyttää muut eli 5 aikarahdatun aluksen käyntikertaa ja 2 Birka- tai muun alusluokan käyntikertaa. Arvioidut luvut jäävät pienemmiksi, mikäli Turkuun normaalisti liikennöivien alusten

käyttöasteet ovat alhaiset ja aluksilta löytyy vapaita kaistametrejä. Tämä ei selvinnyt tutkitusta aineistosta.

Yhteensä Turun satamaan tulisi viikossa 28 uutta aluskäyntikertaa, päivittäin neljästä viiteen aluskäyntikertaa. Tästä aiheutuu viivettä puettujen yksiköiden ehtimiselle tukkukaupan jakelurunkoihin. Lisäksi edellytetään, että Turun satama kykenee hoitamaan samanaikaisesti sataman oman liikenteen.

Star-luokan aluksia liikennöi viisi kappaletta. Mikäli Star-luokan aluksia korvaavien alusluokkien aluksilla on myös tarkoitus kuljettaa kaikki liikennöitävillä reiteillä lähtösatamien eli Gdynian ja Travemünden välillä liikennöitävät ro-ro-yksiköt, aluksia tarvitaan useita. Jos kolme Star-luokan alusta korvataan Birka-luokan aluksilla, uusia aluksia tarvitaan yhdeksän. Mikäli loput eli kaksi Star-luokan alusta korvataan aikarajatuilla aluksilla, uusia aluksia tarvitaan kuusi. Yhteensä viiden Star-luokan aluksen korvaaminen niiden nykyisillä reiteillä ja lasteilla edellyttäisi jopa kolminkertaisen määrän korvaavia aluksia.

Jos lasteista puolet muutetaan puoliperävaunuista kuorma-autoiksi, sataman läpivirtaus paranee. Puoliperävaunujen volyymi on enää kaksinkertainen normaalitilanteeseen verrattuna. Kello 11.00 mennessä purettavat ajavat täysperävaunurekoissa takaisin pääkaupunkiseudulle ja ehtivät saman päivän jakeluun. Kuorma-autoja voidaan kuljettaa vain ropax-laivoilla, joten ainakin osan kokoluokan 4216 kaistametriä laivoista on siirryttävä kulkemaan Ruotsin kautta meritse Suomeen.

#### **1.4 Pansion ja Länsisataman infrastruktuuri**

Tällä hetkellä Pansion satamassa on vain yksi leveä ramppi (Helminen, 2010). Vuosaaren satamaan on viikossa 17 aluskäyntiä ja lokakuussa 2009 Pansion satamassa oli kolme aluskäyntiä viikossa. Ramppi oli vapaana neljänä arkipäivänä, jos Pansion satamaan ro-ro-rampille liikennöiviä muita kuin Finnlines aluksia ei oteta mukaan tarkasteluun.

Siten Pansion sataman aluskäyntien määrää yhdellä roro-rampilla toimittaessa on mahdollista kasvattaa vain vähän.

Turun sataman Pansion satamanosan tarkastelu ei ole kiinnostavaa, mikäli tarkastelussa oletetaan käytettävän vain yhtä leveää maaramppia (Helminen, 2010). Tästä syystä tarkastelu tehdään tilanteessa, jossa sataman toinen ramppi on otettu käyttöön. Käyttöönottoon kuluva viivettä ei ole sisällytetty mukaan tutkimuksen laskelmiin. Turun sataman Pansion satamanosan läpivirtaus on yhteensä 50 kpl/h puoliperävaunua, mikäli ramppeja olisi kaksi. Läpivirtaus varastokentiltä ei ole tiedossa. Noudoista ei tiedetä noutotehoa.

Vaikka varustamo ja satamaoperaattori pysyvät samana, liikennöivät alukset ovat erilaisia ja sataman sekä satamaoperaattorin kapasiteetti on sopeutettu juuri kyseisen sataman liikennemäärille (Rautiainen, 2010). Vaikka operaattori ei muutu, operaattorin toimintatapaa ei voi siirtää Vuosaaresta Turkuun. Infrastrukturi ei ole riittävä, jotta operaattori voisi alkaa käyttää Turun saman omaan liikenteeseensä sopeutuneita toimintatapoja. Jotta siirto on mahdollista, satamaoperaattorin tulee sopeuttaa toimintatapansa uuteen tilanteeseen.

Sataman infrastruktuurista selvitettiin rampit, varastokentät ja liikenneväylät. Roro-alukset puretaan Pansion satamassa ja tarvittaessa Turun kantasatamaan kuuluvassa Länsisatamassa. (Turun satama, 2010)

#### 1.4.1 Rampit

Pansion satamanosa muistuttaa Vuosaarta, mutta satamanosan koko on pienempi. Satamassa ei ole kaksoisramppia ja onkin hitaampi kuin Vuosaari. Turun kantasatamasta puuttuu myös kaksoisramppi ja kenttätila on pienempi kuin Pansiossa. (Helminen, 2010) Pansion toisen rampin valmistuttua kahdella leveällä rampilla on viikossa yhteensä 11 vapaata käyttöpäivää.

Vuosaaren sataman logistista ratkaisua ei voi siirtää Turkuun, koska kaksoisramppia ja kaksoisramppia käyttäviä aluksia ei voi siirtää lyhyessä ajassa. Pansion sataman leveillä rampeilla voidaan purkaa vain 50 % kokoluokan 4216 kaistametriä alusten kansista eli kaksi alimmaista kantta (Takanen, 2010). Puoliksi lastatun 4216 kaistametrin kokoisen aluksen kahden alimman kannen purkaus kestää vajaa 6 tuntia Pansion satamassa.

Turun satamassa puretaan pitkiä, kapeita aluksia, joiden purkaminen on hidasta. Länsisataman rampin ramppiteho on alle 25 vetoa tunnissa. Osa rampeista sijaitsee lähellä varastokenttää, osa mutkittelevan kapean kulkuväylän takana. (Rautiainen, 2010) Länsisatamassa purkaa päivittäin 1 – 3 alusta. (Portnet) Länsisatamassa on kaksi kapeaa roro-ramppia (Turun satama, 2010). Alukset varaavat rampit koko päiväksi. Länsisatamassa on yksi kapea ramppi vapaana neljänä päivänä viikossa, kun tarve on seitsemän purkauspäivää. Kantasataman lyhyisiin laitureihin kiinnittyvät pitkät alukset peittävät vaihtoehtoiset rampit, joten ramppien suuresta määrästä ei ole hyötyä (Rautiainen, 2010).

Suurten alusten korvaaminen pienillä aluksilla vaikuttaa satamainfrastruktuurin rajoitteisiin. Pienten alusten purkamiseen on useita ramppeja, mutta alusten kääntöajat varaavat laiturialueet pidemmäksi aikaa. Siten sataman läpi virtaavat liikennemäärät voivat pienentyä. Kuljetusyksiköiden vaihtaminen tehokkaammin käsiteltäviksi kasvattaa läpivirtausta, mikäli kuljettajista ei ole pulaa. Turun sataman ramppeja on arvioitu taulukossa 25 (Turun satama, 2010 ja Takanen, 2010).

*Taulukko 25 Turun sataman satamanosien roro-rampit .*

Satamanosa	Roro-rampit kpl
Matkustajasatama	Viisi, yksi matkustajalautoille mitoitettu kaksoisramppi, kapeat maarampit
Länsisatama	Kolme, kapeat maarampit, vain kahta voidaan käyttää samanaikaisesti
Linnanaukko	Kaksi, kapeat maarampit
Pansio	Kaksi, leveät maarampit

#### 1.4.2 Varastokentät

Turun sataman Pansion satamanosan varastokentän käyttötapa on samanlainen kuin Vuosaaren sataman varastokentän käyttötapa. Varastokentän koko on riittävän suuri ja sijainti on ramppien vieressä. Varastokentät ovat jakautuneet satamanosittain. Pansion sataman roro-satamanosan kenttäpinta-ala on 260.000 m<sup>2</sup>, mutta suurin osa kenttäpinta-alasta on muussa käytössä kuin puoliperävaunujen varastoinnissa. Pansion sataman varastokentän ruudut alkavat roro-ramppien välittömästä läheisyydestä.

Länsisataman satamanosan roro-ramppien läheisyydessä oleva puoliperävaunujen purkaukseen tarkoitettu varastokenttä on pieni ja sijainti on terminaalirakennusten takana, ei rampin vieressä. (Rautiainen, 2010) Kentälle liikennöidään mutkitellen terminaalirakennusten sivuitse. (Turun satama, 2010) Turussa käytetään sekakenttiä kantasataman satamanosien kokorajoitteiden takia (Rautiainen, 2010). Ahtaat varastokentät ovat Turun Kantasataman rakenteellinen pullonkaula (Takanen, 2010). Kuormien määrän ja koon kasvaessa sekakenttä voi lisätä virheitä. (Rautiainen, 2010) Kenttien koko saattaa olla riittämätön lauantain ja sunnuntain kuormien purkamiseen ja maanantai kuormitukseen.

Koska Länsisataman varastokenttä oli hyvin erilainen kuin Vuosaaren varastokenttä, käyttötapa ei voi olla samanlainen kuin Vuosaaren sataman varastokentän käyttötapa. Varastokentän läpivirtausta on muutettava. Sopivia keinoja voivat olla kuljetusyksiköiden muuttaminen tehokkaammin käsiteltäviksi kuorma-autoiksi tai varastokentän muuttaminen läpivirtauskentäksi ja puoliperävaunujen vetäminen kauempana oleville varastokentille.

Turun yliopiston erillislaitoksen Merenkulun koulutus- ja tutkimuskeskuksen tutkija Reima Helminen on laskenut ilmakuvasta

Pansion sataman varastoruutujen roro-kuljetuksiin käytettävissä olevan määrän. Kun tiedetään varastoruutujen määrä 10.000 m<sup>2</sup> kohti, sataman roro-varastoruutujen kokonaismääräksi saatiin 585 kappaletta.

Turun kantasataman ja Pansion sataman varastokenttien kapasiteetin laskentaan vaikuttavia yksityiskohtaisia tekijöitä ei ole selvitetty tässä tutkimuksessa.

#### 1.4.3 Liikenneväylät

Turun kantasataman ulosajoväyliä on useita ja väylät ovat ahtaita, koska kantasatama sijaitsee Turun kaupungin yhteydessä. Pansion sataman ulosajoväylät eivät ole yhtä keskellä asutusta. (Turun satama, 2010)

Turun kantasataman ajoväylät kulkevat joko kaupunkialueella tai asutuksen keskellä. Myös Pansion sataman liikenne kulkee asutusalueen läpi. Liikenne väylillä tulee ruuhkautumaan, koska väyliä ei ole suunniteltu Vuosaaren sataman kautta kulkeville liikennemäärille. Kuljetuksia noutava liikenne tulee siirtää suljetun satama-alueen ulkopuolelle. Kuljetettavat kuljetusyksiköt tulee muuttaa tehokkaammin käsiteltäviksi. Lisäksi on ratkaistava riittävä kuljettajien saanti.

Länsisataman varastokentän ajoväylät rampin ja kentän välillä ovat kapeat ja mutkittelevat terminaalirakennusten välistä. Ajonopeus on alhainen ja siirtymiseen rampin ja varastokentän välillä kuluu aikaa.

Turun sataman laituriin syväykset riittävät nykyisten alusluokkien aluksille raskaassakin lastissa. Veden pinnan korkeusvaihtelut voivat olla puolesta metrillä metriin erityisesti pitkään jatkuneen pohjoisen tuulen takia. (Rautiainen, 2010)

### 1.5 Pansion sataman satamaoperaattori

Vuosaaren liikennöivä varustamo ja varustamon aluksia purkava satamaoperaattori toimivat myös Turun sataman Pansion satamanosassa.

Satamaoperaattorin kapasiteettitarpeet ovat suurimmat purettaessa aluksia, joiden lastauksessa ei ole voitu käyttää tehokkaita teknisiä ratkaisuja kuten automaattisidontaa.

Satamaoperaattorin työkoneita on riittävästi, koska Helsingin sataman 61 työkoneita voidaan siirtää Turkuun. Sataman työkoneiden työskentelyn pullonkaulana ovat pitkä ja kapeat alukset. Alukset kykenevät ylläpitämään riittävää nopeutta, mutta ovat liian ahtaita vetomestareiden tehokkaalle työskentelylle.

Jos alusten ja infrastruktuurin muuttuessa vetomestareiden käytötapa muuttuu, vetomestareille mitatut vetotehot eivät enää päde. Esimerkiksi vetomatkat varastokentällä muuttuvat, joten ajamiseen käytetty aika ei pysy samana.

Satamaoperaattorilla ei ole kapasiteetin ylimäärää Vuosaaren sataman liikenteen siirryttyä Turkuun. Satamaoperaattori ei voi purkaa alusten pääkansia maksimiteholla, koska maksimitehon edellyttämät pitkälle teknisesti kehittyneet rampit jäivät Helsinkiin.

Varastokentän läpivirtausta on muutettava. Sopivia keinoja voivat olla kuljetusyksiköiden muuttaminen tehokkaammin käsiteltäviksi tai varastokentän muuttaminen läpivirtauskentäksi ja puoliperävaunujen vetäminen kauempana oleville varastokentille.

Mikäli varastokentän koko ei riitä Vuosaaresta siirtyneille kuormille, sen jälkeen kun käytössä on yhden maarampin sijasta kaksi leveää maaramppia, näiden kuormien osalta satama muutetaan läpivirtausterminaliksi ja puoliperävaunut vedetään kauempana sijaitseville varastokentille. Vuosaaresta siirtyneitä vetomestareita käytetään puoliperävaunujen vetämiseen kauemmaksi.

Satamaoperaattorilta mitattu vetoteho on hieman korkeampi kuin Vuosaaren satamassa (Finnsteve, 2010d).

## 1.6 Kuljetusyritysten noudot

Kun Vuosaaren alukset on siirretty purettaviksi Turkuun, satamaoperaattorin käyttämät kuljetusyritysten noutojen profiilit eivät enää pidä paikkaansa. Profiilit pitivät paikkansa pääkaupunkiseudulla, kun kuljetusyrietykset noutivat lastin, pudottivat sen asiakkaalle ja palasivat noutamaan uusia lasteja. Muuttuneessa tilanteessa toteutuvat aika-aviisin mukaiset noudot tulisi selvittää etukäteen kuljetusyrietyksiltä, jotta varastokentältä voidaan varata tarvittava määrä ruutuja. Mikäli aika-aviisin mukaisten noutojen ja purkauksen aikana toteutuvien noutojen osuus vähenee, varastokentät muodostuvat pullonkauloiksi. Tällöin on varattava kuljetuskalustoa puoliperävaunujen vetämiseksi kauempana sijaitseville varastokentille.

Mikäli noutoprofiilit yritetään pitää ennallaan ja purkauksen valmistumisesta kello 11.00 mennessä pidetään kiinni, alusten purkauksen on käynnistytävä nykyistä aikaisemmin. Alusaikatauluja on muutettava ja alusten lastaus lähtösatamassa tulee valmistua aikaisemmin. (Rautiainen, 2010)

Noudot ovat toteutuneet hitaammin kuin Vuosaarella. Jos Pansion satamanosaan on purettu alus kahden päivän välein, kuljetusyrietyksillä on ollut enemmän aikaa noutaa puoliperävaunut pois varastokentiltä.

Noutoja varastokentiltä ei ole suunniteltu Vuosaaren sataman kuljetusmäärien suuruisille määrille. Puoliperävaunujen noudot on todennäköisesti ohjattava haettavaksi muualta kuin satama-alueelta myös Pansiossa.



## 2 Testit

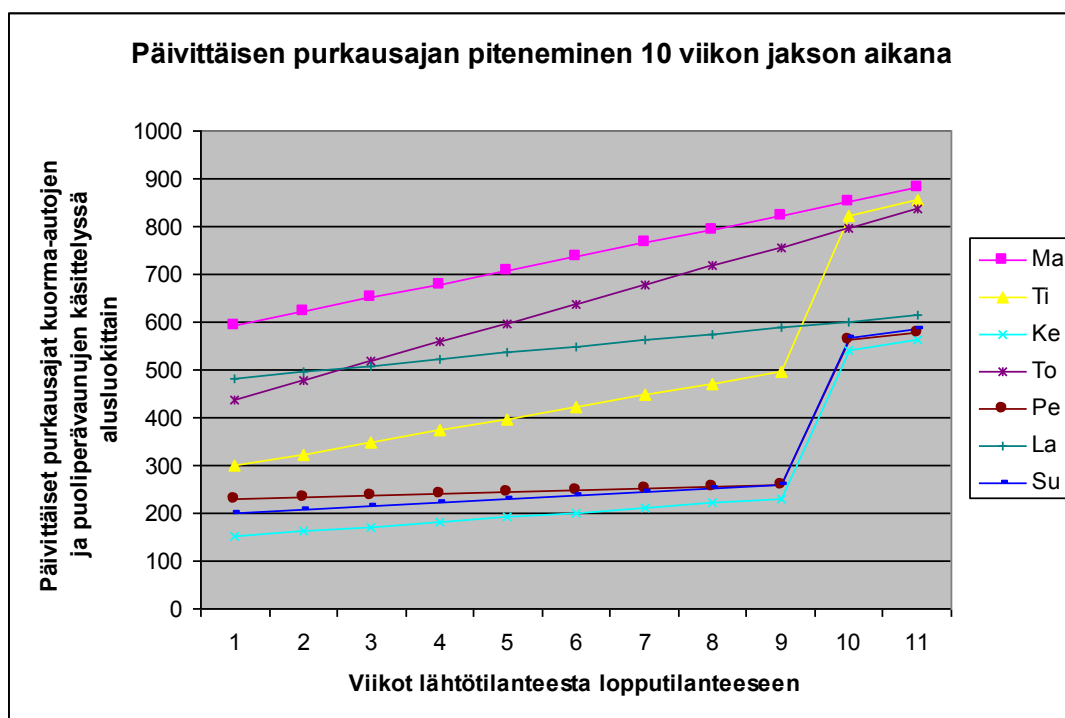
Taulukon 26 viikolla 10 kuljetettavat lastit perustuvat Vuosaaren liikenteeseen lokakuussa 2009. Toteutuneita tietoja on muokattu ja kasvatettu, jotta päästäisiin ensin takaisin edellisen vuoden noin 20 – 30 % suurempiin lukuihin. Tämän jälkeen lukuja on edelleen kasvatettu, jotta hävitettäisiin taantuman vaikutukset ja mallinnettaisiin tilannetta, jossa liikennemäärät ovat kasvaneet noin 20 % verrattuna vuoden 2008 syksyn tilanteeseen.

*Taulukko 26 Lopputilanteessa viikolla 10 kuljetettavat lastit*

Viikko	Päivä	Sataman-osa	Reitti	Kaistametriä	Lasti ka kpl	Pv kpl	Muu lasti kaista- metriä	Lastaus- kerroin
10	Ma	Vuosaari	Travemünde – Helsinki – Gdynia	4216	46	212	225	98 %
10	Ma	Vuosaari	Gdynia – Helsinki – Travemünde	4216	46	214	225	99 %
10	Ma	Vuosaari	Tanska – Suomi – Ruotsi	2606	0	125	275	81 %
10	Ma	Vuosaari	Käynti Venäjällä	3200	0	10	250	12 %
10	Ti	Vuosaari	Travemünde – Helsinki - Travemünde	4216	42	213	255	97 %
10	Ti	Vuosaari	Tanska – Suomi – Ruotsi	2606	0	125	275	81 %
10	Ti	Vuosaari	Euroopasta Suomeen	1690	0	57	557	83 %
10	Ti	Vuosaari	Eri reittejä	1890	0	48	320	54 %
10	Ke	Vuosaari	Travemünde – Helsinki - Travemünde	4216	73	182	233	98 %
10	Ke	Vuosaari	Tanska – Suomi – Ruotsi	2606	0	125	275	81 %

Viikko	Päivä	Sataman- osa	Reitti	Kaista- metriä	Lasti ka kpl	Pv kpl	Muu lasti kaista- metriä	Lastaus- kerroin
10	To	Vuosaari	Travemünde – Helsinki – Travemünde	4216	50	211	130	97 %
10	To	Vuosaari	Gdynia – Helsinki – Gdynia	4216	9	243	414	98 %
10	To	Vuosaari	Tanska – Suomi – Ruotsi	2606	0	98	230	64 %
10	Pe	Vuosaari	Travemünde – Helsinki – Travemünde	4216	56	205	231	99 %
10	Pe	Vuosaari	Tanska – Suomi – Ruotsi	2606	0	125	275	81 %
10	La	Vuosaari	Travemünde – Helsinki – Gdynia	4216	67	193	151	98 %
10	La	Vuosaari	Gdynia – Helsinki – Travemünde	4216	10	93	770	55 %
10	La	Vuosaari	Tanska – Suomi – Ruotsi	2606	0	98	230	64 %
10	Su	Vuosaari	Travemünde – Helsinki – Travemünde	4216	60	93	35	57 %
10	Su	Vuosaari	Tanska – Suomi – Ruotsi	2606	0	125	275	81 %
10	Su	Vuosaari	Euroopasta Suomeen	1690	0	57	287	67 %

Aluskäyntien määrää on lisätty viikolta 10, mikä näkyy portaittaisena kuormituksen kasvuna kuvassa 45. Lastauskertoimen asteittainen kasvu viikkojen 1 - 10 aikana on selvästi havaittavissa purkausaikojen pitenemisenä.



Kuva 45 Purkausajan piteneminen Vuosaaren satamaan liikennöivien alusten lastauskertoimen kasvaessa ja aluskäyntien lisääntyessä

Taulukossa 27 selvennetty varustamon liikenteen elementit ja parametrit voidaan kuvata Exceliä kehittyneemmällä välineellä. Excel-tilukkolaskentaa varten parametrien käsittelyä piti yksinkertaistaa. Käsittelyssä luovuttiin aluskäyntien kohdentamisesta alustyyppille sopiville rampeille. Sen sijaan aluskäynnille ja puretulle kuljetusyksikölle kirjoitettiin suoraan käytetty ramppinopeus.

Taulukko 27 Varustamon liikenteen elementtejä

Elementti	Parametri	Yksikkö	Liittyy	Esimerkki
Alus	Aluskoko	Kaista-kilometriä		4216, 3200, 2606, 1890
	Satama	Varustamolla on reitti satamaan	Ramppi	Turku / Pansio
	Sataman ramppi	Täyttöaste ramppilla Ramppi- nopeus eri kuljetus-	Täyttöaste, purkaus aika	4216 kaksois- ramppi, maaramppi

Elementti	Parametri	Yksikkö	Liittyy	Esimerkki
		yksiköille rampilla		
Aluskäynti	Käyntejä	Kpl/vrk	KET	Viikko 9 pe - su ja viikko 10 ma - su
	Roro/ropax- käyntejä	Kaista- kilometrejä / vrk		
	Kuljetusyksiköitä (KET)	Kpl		

Taulukkoon 28 kootut varustamon liikenteen muuttujat tuotettiin suunnitellulla tavalla: Taulukossa 26 on kasvatettu sekä alusten lastauskertoimia että aluskäyntien määrää.

*Taulukko 28 Varustamon liikenteen muuttujia*

Elementti	Parametri	Yksikkö
Alus	Aluskoko	Kaistakilometriä
	<b>Satama muuttuu</b>	<b>Varustamolla on reitti satamaan</b>
	Sataman ramppi	Täyttöaste rampilla Ramppinopeus eri kuljetusyksiköille rampilla
<b>Aluskäynti</b>	<b>Käyntien määrä kasvaa</b>	<b>Kpl/vrk</b>
	Roro/ropax-käyntejä	Kaistakilometrejä / vrk
	<b>Kuljetusyksiköitä (KET) määrä kasvaa</b>	<b>Kpl, + 50 % realistinen</b>

Taulukossa 29 selvitetty sataman infrastruktuurin elementit ja parametrit voidaan kuvata Exceliä kehittyneemmällä välineellä. Excel-  
taulukkolaskentaa varten parametrien käsittelyä piti yksinkertaistaa. Käsittelyssä luovuttiin alusten kohdentamisesta rampeille ja ramppien vapaiden käyttötuntien seurannasta. Varastokentän käyttötapana käytettiin vaihtoehtoa 1.

*Taulukko 29 Sataman infrastruktuurin elementit*

Elementti	Parametri	Yksikkö	Liittyy	Esimerkki
Satama	Aukioloaika	h	Vaihto	Aukioloaika 24 h, 3 vuoron vaihtoa ja tauot, purkaus ja lastaus 20 h
Laiturialue	Laiturin käyttötapa	h	Ramppi	Alus kerrallaan purkaus ja lastaus
	Alustyyppin vaihtoaika	h	Ramppi	4216, 6200, 2606 ja 1890 kääntöaika ja kuljetusyksikköjen vaihtoaika, enintään 250 + 250 pv vaihdossa
Ramppi	Aluksia rampilla	Kpl/vrk	Puolikas tai kokonainen alus vaihdossa	20 h / alustyyppin vaihtoaika
Varastokenttä	Koko ruutuja	kpl		
	Kentälle jääneitä	Kpl %	Vapaita ruutuja	Purkauksesta noudetaan 8 % seuraavana päivänä
	Kentän käyttötapa 1	Kpl	Purkaukseen osoitettuja ruutuja	Kenttä puolitettu, tuonti ja vienti erillään
	Kentän käyttötapa 2	Kpl	Purkaukseen osoitettuja ruutuja	Sekakenttä, kaikki ruudut käytössä
	Kentän käyttötapa 3	Kpl	Purkaukseen osoitettuja ruutuja	Samana päivänä useita aluksia yhdeltä rampilta, jos pulaa kenttätilasta, niin noudot aluksen laiturissa oloaikana

Taulukkoon 30 koottuja muuttujia eli esimerkiksi Turun sataman Pansion satamanosan kentän käyttötapaa ei päästy mallintamaan, koska tietoja ei kerätty satamaoperaattorin tasalta. Turussa puretaan nykyisin alus noin joka toinen päivä, joten varastokentän tyhjenemisnopeus on hitaampi

kuin Vuosaassa. Siten myös laskentaperusteet todennäköisesti poikkeavat.

*Taulukko 30 Sataman infrastruktuurin muuttujia*

Elementti	Parametri	Yksikkö
<b>Satama</b>	<b>Aukioloaika</b> <b>Turku</b> <b>aikaistuminen</b>	<b>h</b>
Laiturialue	Laiturin käyttötapa	h
	Alustyyppin vaihtoaika	h
Ramppi	Aluksia rampilla	Kpl/vrk
Varastokenttä	Koko ruutuja	kpl
	<b>Kentälle jääneitä, Turku</b> <b>viikonloppuna</b>	<b>Kpl %</b>
	Kentän käyttötapa 1	Kpl
	Kentän käyttötapa 2	Kpl
	Kentän käyttötapa 3	Kpl

Taulukkoon 31 kootuista satamaoperaattorin elementeistä ja parametreista pystyttiin mallintamaan keskimääräiset toteutuvat tehokkuudet kuten ramppiteho, vetomestareiden määrä, vetoteho ja kuljetusyritysten noutoteho. Noutotehon muutoksen vaikutuksia päästiin arvioimaan suunnitellulla tavalla. Maksimitehon vaikutuksia ei päästy arvioimaan.

*Taulukko 31 Satamaoperaattorin elementit ja parametrit*

Elementti	Parametri	Yksikkö	Liittyy	Esimerkki
Ramppi	Ramppiteho	Kpl/h	Joustovara	Keskimäärin 25, maksimiteho 40, joustovara 15 vetoa tunnissa
Vetomestarit	Määrä	Kpl	Alukset	Vetomestareiden määrä aluksen purkauksessa
	Vetoteho	Kpl/h	Joustovara	Keskimäärin 5,7 (Finnsteve, 2010d), maksimiteho 11, joustovara suhteessa pääkannen vetojen vaiheeseen

Elementti	Parametri	Yksikkö	Liittyy	Esimerkki
	Ajomatka	Metri	Yhden vedon pituus	Veto alukseen (s1), aluksesta (s2), kentälle (s3), kentältä (s4)
	Käyttöaste	%	Maksimiteho	Vetoaika verrattuna keskimääräiseen vetoaikaan
Varastokenttä	Ruutujen etäisyys rampilta keskimäärin	m	vetomatka lähimpään ruutuun	Matka ramppia lähinnä olevaan ruutuun, vetomatkan piteneminen
Noudot	Noutoteho	%	Vetoteho	Noutojen määrä % varastokentälle vedetyistä puoliperävaunuista

Taulukkoon 32 koottuja satamaoperaattorin muuttujia ei päästy testaamaan kokeellisesti, koska tutkimuksella ei ollut edellytyksiä testata maksimitehon vaikutuksia. Vain noutotehon muutosten vaikutuksia päästiin arvioimaan suunnitellulla tavalla. Ramppitehon ja vetotehon joustovaraa on arvioitava erillisillä laskelmilla. Laskelmat on tuotettu liitteessä kohdassa 4.4.2 – 4.4.4. Ajomatkan selvittäminen liittyy maksimitehon käytön selvittämiseen. Maksimitehon käytön vaikutuksia ei arvioida tässä tutkimuksessa, koska tutkimuksen käyttöön ei ollut luovutettu riittävästi mitattuja tietoja.

*Taulukko 32 Satamaoperaattorin muuttujat*

Elementti	Parametri	Yksikkö
<b>Ramppi</b>	<b>Ramppiteho, selvitetään joustovara</b>	<b>Kpl/h</b>
Vetomestarit	Määrä alusta kohti	Kpl
	<b>Vetoteho, selvitetään joustovara</b>	<b>Kpl/h</b>
	<b>Ajomatka, selvitetään vedon pituutta</b>	<b>Metri</b>
	Käyttöaste	%
Varastokenttä	Ruutujen etäisyys rampilta	m

Elementti	Parametri	Yksikkö
	keskimäärin	
<b>Noudot</b>	<b>Noutoteho, muutetaan noutojen osuutta</b>	<b>%</b>

Taulukon 33 selventämät sataman läpivirtauksesta seurattavat mittarit pystyttiin tuottamaan laskentamallilla. Laskelmien lähtökohtana oli keskimääräinen ramppiteho. Sataman infrastruktuurin seurattavat mittarit pystyttiin tuottamaan luodulla laskentamallilla, kun lähtökohtana oli keskimääräinen toteutuva tehokkuus.

Suurin osa satamaoperaattorin seurattavista mittareista olisi edellyttänyt maksimitehoon perustuvan toteutuvan tehokkuuden lähtötietoja ja käsittelysääntöjä. Näitä tietoja ei ollut käytettävissä, joten satamaoperaattorin kapasiteetin käyttö ja läpivirtaus tuotettiin keskimääräisellä ramppiteholla. Siten sataman infrastruktuurin ja satamaoperaattorin läpivirtauksen ja kapasiteetin käytön välille ei saatu eroja.

Tutkimuksessa olisi ollut mahdollista jakaa alusten lastit alusten kansille. Alusten pääkansilla olevien puoliperävaunujen vetämiseen olisi ollut mahdollista käyttää liitteessä 4.4 kuvattuja kaavoja ja liitteessä 4.4 kuvattua maksimitehoa. Alusten pääkannet olisi saatu tyhjennettyä varastokentille keskimääräistä nopeammin, jolloin vetomatkat olisivat pidentyneet nopeasti ja satamaoperaattorin prosessit olisivat hidastuneet ja noudot käytävillä ruuhkaantuneet. Tutkimuksen käytössä ei ollut noutoprofiileja eikä mitään suunnista kuvausta tai mitattua tietoa käytävien ruuhkaantumisesta, joten satamaoperaattorin pullonkauloja ei olisi päästy muodostamaan Vuosaaren satamaan.

*Taulukko 33 Seurattavat mittarit*

Mallin osa	Mitattava tieto	Mittari
Liikenne-määrät	Sataman läpivirtaus	Aluskäynnit viikontäivittäin
		Kaistametrit viikontäivittäin ja



Mallin osa	Mitattava tieto	Mittari
		aluskäynneittäin.
		Kuljetusyksiköt viikonpäivittäin ja aluskäynneittäin.
Sataman infrastruktuuri	Aluskäynnin purkausaika	Aluksen keskimääräinen purkausaika. Purkausajan ylitys kello 11.00 jälkeen. * Muutostarve tahtiaikaan 2.
	Kapasiteetin tarve	Ramppien määrä Varastokentän lohko ja ruutujen määrä.
	Kapasiteetin käyttö	Ramppien varaus Varastokentän varausaste ja joustovara. Varastokentän täyttymisnopeus ja tukkeutuminen. Varastokentän tarvittava koko kaikkien alusten purkaukseen ja lastaukseen.
Satama-operaattori	Sataman läpivirtaus	Kaikista aluksista tunnin aikana purettavien puoliperävaunujen kokonaismäärä.
	Kapasiteetin käyttö	Vetomestareiden määrä. * Vetomestarien keskimääräiset vetomatkat valitulle varastokentän lohkolle, purettavan lastin määrä ja noudot huomioiden. * Toteutuva vetoaika (keskimääräinen, maksimaalinen yläraja, lastin purkauksesta ja nopeusvaatimukset ylityksestä laskettu vetoaika pääkannen purkauksen aikana).
	Vetomestari	Yhden vetomestarin vetoon käytetty toteutunut aika. * Vetomestarin vetoajan ja ramppitehon joustovaran laskennallinen tarve koko aluksen purkauksen aikana. * Vetomestarin vetoajan ja ramppitehon joustovaran laskennallinen tarve pääkannen purkauksen aikana. * Vetomestareiden toteutuva tarve vetoajan ja ramppitehon joustovaran loputtua.
Kuljetusliike	Sataman läpivirtaus	Kuljetusliikkeen noudot tunnin aikana mitattuna erikseen purkauksen kaikille tunneille ja yhteensä koko purkausajalle 7.00 – 11.00.

\* merkityt liittyvät maksimitohon laskentaan

*Taulukko 34 Raportoittavat muutokset ja tulokset*

Mallin osa	Mitattava tieto	Mittari
Varustamon liikenne	Aluskäynnit	Kappaleita, kaistametrejä, kuljetusyksiköiden määriä kappaleina
Aluksen purkaus	Ramppiteho	Vedot rampin yli pääkannelta ja muilta kansilta, purkausaika
Veto kentälle	Vetoteho	Keskimääräinen ja maksimaalinen vetoteho, varastokentän koko
Nouto kentältä	Noutoteho	Noutoprofiilin mukaiset noudot

*Taulukko 35 Vuosaaren sataman kapasiteetin osatekijöitä*

Kapasiteetin omistaja tai vastuu	Kapasiteettiryhmä	Kapasiteetin muodostaja	Syntyvä kapasiteetti
Varustamo	Alukset	Aluskoko ja frekvenssi	Liikennemäärät kaistakilometreinä vuorokaudessa
	Aluksen kuljettamat kuljetusmäärät	Kuljetusyksiköiden sidontaan tarvittava tila 1) Lastauskerroin eri kuljetusyksiköille 2)	Läpivirtaus yksiköitä vuorokaudessa kaikista aluskäynneistä satamassa, kaavasta (1) KET
Sataman pitäjä	Infrastruktuuri		Alusten purkauksen läpivirtaus yksiköitä tunnissa
	Rampit	Kaksoisramppi, leveä ramppi, kapea ramppi, peräporttipaikka	50 yksikköä / h 25 yksikköä /h <20 yksikköä /h 3)
	Varastokenttä	Kapasiteetti muodostuu liikenteelle sopivasta kentän layoutista. 4)	
	Kulkuväylät	ISPS-turvamääräysten mukaisen suljetun satama-alueen kulkuväylät	ISPS-tasolla 0 eli normaalitasolla kapasiteetti muodostuu siten kuin tässä tutkimuksessa on kuvattu. Muita

			tasojia ei tutkittu
	Aukioloaika	Työtunnit ja työvuorot	Aluksen purkua ja lastausta 10 tunnin aikana pidetään nopeana.
Satamaoperaattori	Ramppitehon ja vetotehon yläraja	5)	
	Vetomestareiden määrä	5)	
	Vetomestareiden käyttötapa	5)	
Kuljetusyritykset	Noudot	5)	

1) Taulukosta 1

2) Kuorma-autoille voidaan käyttää lastauskerrointa 100 %, jolloin alus on täyteen lastattu. Puoliperävaunuille lastauskerroin yläraja on 95 %, jotta alusten purkaus ei hidastuisi (Styhre, 2009).

3) Luvut ilmoitettu puoliperävaunuille. Kuorma-autojen purkausnopeus on kaksinkertainen, muiden kuljetusyksiköiden purkausnopeus on pienempi kuin puoliperävaunujen.

4) Ruudut, rivit ja rivien tilantarve, vetomestareiden ja kuljetusyritysten samanaikaisen liikennöinnin mukainen varastokentän muoto. Tärkeimpänä on varastokentän lohkominen osiin ja lohkojen osoittaminen yksittäisten alusten purkaukseen ja lastaukseen. Vaihtoehtona on sekakenttien käyttö.

5) Erillinen selitys, kapasiteetin muodostuminen ei ole yhtä suoraviivaista kuin varustamon ja sataman infrastruktuurin osalta.

Testissä 1 ruutuja tarvittiin enintään 455 ja vähintään 293. Maanantaiaamun varastoruutujen tarve on suurempi ja taulukon 59 esimerkin mukaisesti tarve voi ylittää 100 %. Liikennemäärien kasvattaminen taulukon 26 tasolle edellyttää, että lauantain ja sunnuntain kuormista noudetaan noin kolmasosa, jotta maanantaina alusten purkaus ja liikennöinti varastokentällä voi toteutua. Yhteensä maanantaiaamuna purkautuu ja noudetaan enemmän puoliperävaunuja kuin kentällä on ruutuja. Ruutujen käyttötapaa muutetaan vientikuormien tilantarpeen minimoimiseksi. Testatussa perustapauksessa varastokentän täyttymisnopeus oli yli puolet matalampi, kun noutojen vaikutus huomioidaan. Tulokset on koottu taulukoihin 36 – 39.

*Taulukko 36 Testi 1, purkausaikoja kokoluokan 4216 kaistametriä aluksilla*

4216 KAISTAMETRIN ALUKSET

Viikko	Päivä	Ramppiteho	Purkausaika min kuorma- autot	Purkausaika min puoliperävaunut	Purkausaika min yht. ka + pv	Purkausajan ylitys min alus	Purkausajan ylitys min pv	Varastokentän ruutuja	Vetomestareita	
10	Ma		50	14	255	268	28	15	101	10
10	Ti		50	13	256	269	29	16	115	10
10	Ke		50	22	218	240	0	0	105	10
10	To		50	15	253	268	28	13	59	10
10	Pe		50	17	246	263	23	6	104	10
10	La		50	20	232	252	12	0	68	10
10	Su		50	18	112	130	0	0	16	10

*Taulukko 37 Testi 1, liikennemäärät*

LIIKENNEMÄÄRÄT

Viikko	Päivä	Viikontähtäht. Aluskäyntejä	Viikontähtäht. kaistametrejä	Viikontähtäht. kuorma-autoja	Viikontähtäht. puoliperävaunuja	Viikontähtäht. varastokentän ruudut	Viikontähtäht. vetomestareiden tarve
10	Ma	4	10792	92	561	439	36
10	Ti	4	8639	42	443	633	28
10	Ke	2	6260	73	307	229	16
10	To	3	9887	59	552	348	26
10	Pe	2	6306	56	330	228	16
10	La	3	8105	77	384	518	26
10	Su	3	5660	60	275	269	22

*Taulukko 38 Testi 1, sataman infrastruktuuri ja satamaoperaattori*

SATAMAN  
INFRASTRUKTUURI JA  
SATAMAOPERAATTORI Kaikki alukset yhteensä

Viikko	Päivä	Sataman infrastruktuurin yläraja puoliperävaunuja tunnissa	Varastokentän täyttyminen tunnissa kaikilta aluksilta	Varastokentän tukkeutuminen, % täyttöasteesta	Varastokentän täyttymisaika tunneissa	Ramppinopeus vrt. keskimääräiseen ramppi-nopeuteen purkausajan ylityksen takia	Varastokentän joustovara	Varastokentän tarvittava koko
10	Ma	150	92	62	6	106 %	19 %	878
10	Ti	150	72	48	8	106 %	-17 %	1173
10	Ke	150	41	27	13	100 %	58 %	457
10	To	150	67	44	8	105 %	35 %	697

10 Pe	150	41	27	13	102 %	58 %	455
10 La	150	67	44	8	100 %	4 %	1036
10 Su	150	56	38	10	100 %	50 %	538

*Taulukko 39 Testi 1, noudot*

NOUDOT		Kaikki alukset yhteensä								
Viikko	Päivä	Käytetty noutoteho	Noudot yhteensä 7 - 11		Jää	Sataman läpivirtaus 1. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 2. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 3. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 4. tunnin aikana	
			Käytetty noutoteholla	Noudot yhteensä 11 - 18						
10	Ma	55 %	110	85	17	79	69	69	69	
10	Ti	55 %	110	86	17	69	69	69	62	
10	Ke	55 %	110	57	15	41	41	41	41	
10	To	55 %	110	84	17	69	69	69	69	
10	Pe	55 %	110	78	16	41	41	41	41	
10	La	55 %	110	68	15	69	69	69	52	
10	Su	55 %	93	0	0	55	55	55	38	

Testissä 2 aluksen purkausaikaa pidennetään neljästä tunnista kymmeneen tuntiin. Perustapauksen ramppitehoa alennetaan ja arvioidaan, mikä on ramppitehon alaraja, jolla alus saadaan purettua aukioloaikana. Kaksoisrampin ramppitehon on alennuttava 22 vetoon tunnissa ennen kuin alusten purkaus venyy yli kymmenen tunnin. Tällöin vetomestarin vetoteho laskee puoleen eli 2,9 vetoon tunnissa. Vaikutuksia varastokenttään ei päästy laskemaan, koska laskentamalli käyttää mitattuja keskimääräisiä vetotehoja. Jos purkamisnopeuden hidastuminen yhdistetään noutotehon parantamiseen, satama muuttuu läpivirtausterminaliksi ja varastokentän tarve vähenee huomattavasti.

*Taulukko 40 Testi 2, ramppiteho heikkenee ja purkaus venyy yli sataman aukioloajan*

Viikko	Päivä	Kaista- metriä	Lastauskerroin	Ramppi- teho	Purkaus- aika min yht ka + pv	Purkaus- ajan ylitys min alus
10	Ma	4216	98 %	22	610	370
10	Ma	4216	99 %	22	616	376
10	Ma	2606	81 %	25	300	60
10	Ma	3200	12 %	22	27	0
10	Ti	4216	97 %	22	611	371
10	Ti	2606	81 %	25	300	60
10	Ti	1690	83 %	25	137	0
10	Ti	1890	54 %	25	115	0
10	Ke	4216	98 %	22	546	306
10	Ke	2606	81 %	25	300	60
10	To	4216	97 %	22	608	368
10	To	4216	98 %	22	669	429
10	To	2606	64 %	25	235	0
10	Pe	4216	99 %	22	597	357
10	Pe	2606	81 %	25	300	60
10	La	4216	98 %	22	572	332
10	La	4216	55 %	22	260	20
10	La	2606	64 %	25	235	0
10	Su	4216	57 %	22	295	55
10	Su	2606	81 %	25	300	60
10	Su	1690	67 %	25	137	0

Testissä 3 varastokentän täyttöaste saavuttaa 99,9 % perustapauksen purkauksen aikana, mikäli maanantain noutoteho putoaa puoleen normaalista 55 prosentista eli 27 prosenttiin puretuista puoliperävaunuista. Kenttä täyttyy 3 tunnin 36 minuutin aikana. Muina päivinä varastokentän täytyminen edellyttää noutotehon hidastumista 1 - 7 prosenttiin puretuista puoliperävaunuista. Testatussa tilanteessa maanantain kuormia ei päästäisi purkamaan. Tuotetulla laskentamallilla ei päästy arvioimaan vetomestareiden vetotehon heikkenemistä vetometkojen pidetessä, joten kentän täytyminen saattaa olla hitaampaa, mutta alusten purkausaika pitenee ja ylittää klo 11.00 määräajan. Jos noutotehon hidastumiseen liitetään purkauksen hidastuminen, varastokenttä ei tukkeudu. Tulokset on koottu taulukkoon 41.

*Taulukko 41 Testi 3, noutoteho heikkenee ja sataman varastokenttä täyttyy*

Vko	Pvä	Viikon-päivä yht purkaus min	Viikon-päivä yht Aluskäyntejä	Varastokentän täytyminen tunnissa kaikilta aluksilta	Varastokentän tukkeutuminen, % täyttöasteesta	Varastokentän täyttymisaika tunneissa	Nouto-teho 1. tunnin aikana
10	Ma	851	4	150	100	4	0,27
10	Ti	821	4	148	99	4	0,07
10	Ke	540	2	85	57	6	0,07
10	To	797	3	138	92	4	0,07
10	Pe	563	2	85	57	6	0,07
10	La	602	3	138	92	4	0,07
10	Su	566	3	117	78	5	0,07

Testissä 4 oli tarkoitus arvioida vetotehon heikkenemisen vaikutuksia satamaan. Vetotehon heikkeneminen voidaan rinnastaa ramppitehon heikkenemiseen. Vetotehon ja ramppitehon välistä muutosta on kuvattu kohdassa 4.4.2. Vetotehon muutoksesta on



muistettava, että kyseessä on yhden vetomestarin tunnin aikana tekemien vetojen muutos. Suuri muutos ylöspäin palautuu maksimitehon laskentaan kohdassa 4.4.2 kuvatulla tavalla. Suuret muutokset ylöspäin ovat hetkellisiä ja niitä ei voida teorian mukaan ylläpitää pitkiä aikoja. Suuret muutokset alaspäin eivät ole järkeviä, koska yhdellä vetomestarilla tulee voida tehdä aluksen purkauksen aikana määrätty määrä vetoja.

Testissä 5 arvioitiin ramppitehon muutosta, kun kaikkien ropax-aluksilla kuljetettavien puoliperävaunujen lastit vaihdetaan kuljetettavaksi kuorma-autoilla. Alustarve kasvaa, koska kuorma-autot ovat pidempiä kuin puoliperävaunut. Varustamo vaihtaa reitille mahdollisimman suuren ja tehokkaasti lastattavan ja tyhjennettävän alusluokan aluksen. Koko lasti ajaa ulos aluksesta ilman vetoa varastokentälle. Ramppiteho nelinkertaistui, samalla varastokentän ruutujen tarve väheni, tarvittavien vetomestareiden määrä väheni ja tarvittavien noutojen määrä väheni. Kahdelta kaksoisrampilta purkautuu samanaikaisesti yhteensä 400 kuorma-autoa tunnissa ja kahdelta maarampilta lisää 200 kuorma-autoa tunnissa. Operaattorin portin ulosajo kuudelta kaistalta riittää läpivirtauksen ylläpitämiseen.

*Taulukko 42 Testi 5, purkausaikoja kokoluokan 4216 kaistametriä aluksilla, kaikki kuorma-autoina*

4216 KAISTAMETRIN ALUKSET

Viikko	Päivä	Lasti ka kpl	Lastauskerroin	Ramppiteho	Purkausaika min ka	Purkausaika min pv	Purkausaika min yht. ka + pv	Varastokentän ruutuja	Vetomestareita
	10 Ma	258	104 %	200	77	0	77	0	10
	10 Ti	255	103 %	200	77	0	77	0	10
	10 Ke	255	103 %	200	77	0	77	0	10
	10 To	261	105 %	200	78	0	78	0	10
	10 Pe	261	105 %	200	78	0	78	0	10
	10 La	260	105 %	200	78	0	78	0	10

10 Su	153	62 %	200	46	0	46	0	10
-------	-----	------	-----	----	---	----	---	----

*Vetomestareiden tarve tulisi perustua maksimiteholla laskettaviin todellisiin lasteihin. Tässä laskelmassa aluksen purkamiseen jyvitetään vetomestarit, oli lastina kuinka vähän puoliperävaunuja tahansa.*

*Taulukko 43 Testi 5, liikennemäärät, kaikki kuorma-autoina*

#### LIIKENNEMÄÄRÄT

Viikko	Päivä	Viikontähtä yht. aluskäyntejä	Viikontähtä yht. kaistametrejä	Viikontähtä yht. kuljetusyksiköitä ka	Viikontähtä yht. puoliperävaunuja	Viikontähtä yht. varastokentän ruudut	Viikontähtä yht. vetomestareiden tarve
10	Ma	4	11316	518	135	236	36
10	Ti	4	8868	255	230	519	28
10	Ke	2	6448	255	125	124	16
10	To	3	10392	513	98	104	26
10	Pe	2	6550	261	125	124	16
10	La	3	7842	363	98	104	26
10	Su	3	5839	153	182	253	22

Tiistaina Vuosaaren satamassa purkaa vain yksi 4216 kaistametrin alus, joka kuljettaa kuorma-autoja. Kaikki muut alukset ovat roro-laivoja ja eivät kuljeta kuorma-autoja. Varastokentän kokovaatimuksista ei voida luopua roro-alusten takia, vaikka ropax-alukset vaihtaisivat kuljetukset kuorma-autoille.

*Taulukko 44 Testi 5, sataman infrastruktuuri ja satamaoperaattori, kaikki kuorma-autoina*

SATAMAN INFRASTRUKTUURI JA SATAMAOPERAATTORI

Viikko	Päivä	Sataman infrastruktuurin yläraja puoliperävaunuja tunnissa	Varastokentän täyttyminen tunnissa yhdeltä alukselta	Varastokentän täyttyminen tunnissa kaikilta aluksilta	Varastokentän tukkeutuminen, % täyttöasteesta	Varastokentän täyttymisaika tunneissa	Varastokentän joustovara	Varasto-kentän tarvittava koko
10	Ma	150	26	92	62	6	56 %	473
10	Ti	150	26	72	48	8	4 %	1037
10	Ke	150	26	41	27	13	77 %	248
10	To	150	26	67	44	8	81 %	207
10	Pe	150	26	41	27	13	77 %	248
10	La	150	26	67	44	8	81 %	207
10	Su	150	26	56	38	10	53 %	506

Puoliperävaunujen läpivirtaus on muuttunut hyvin pieneksi eikä enää kuvaa parhaalla tavalla sataman läpivirtausta.

*Taulukko 45 Testi 5, noudot, kaikki kuorma-autoina*

NOUDOT

Viikko	Päivä	Noutoteho keskimäärin	Sataman läpivirtaus 1. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 2. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 3. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 4. tunnin aikana
10	Ma	55 %	24	14	14	14
10	Ti	55 %	41	41	41	34
10	Ke	55 %	14	14	14	14
10	To	55 %	14	14	14	14

10 Pe	55 %	14	14	14	14
10 La	55 %	14	14	14	14
10 Su	55 %	28	28	28	28

Testissä 6 arvioitiin, miten noutojen määrän kasvu vaikuttaa sataman läpivirtaukseen. Ramppiteho ei muuttunut, mutta varastokentän ruutujen tarve väheni huomattavasti. Varastokentän joustovara kasvoi ja sataman läpivirtaus kasvoi. Vaikutuksia vetotehoon ei päästy arvioimaan.

*Taulukko 46 Testi 6, liikennemäärät*

LIIKENNEMÄÄRÄT

Vko	Pvä	Viikon-päivä yht Aluskäyntejä	Viikonpäivä yht Kaistametrejä	Viikonpäivä yht Kuljetusyksiköitä ka	Viikonpäivä yht Puoliperävaunuja	Viikonpäivä yht varastokentän ruudut	Viikonpäivä yht vetomestareiden tarve
	10 Ma	4	10792	92	561	308	36
	10 Ti	4	8639	42	443	539	28
	10 Ke	2	6260	73	307	172	16
	10 To	3	9887	59	552	255	26
	10 Pe	2	6306	56	330	171	16
	10 La	3	8105	77	384	424	26
	10 Su	3	5660	60	275	194	22

Taulukko 47 Testi 6, noudot lisääntyvät ja varastokentän tarve pienenee

Vko	Pvä	Varastokentän täyttyminen tunnissa kaikilta aluksilta	Varastokentän tukkeutuminen, % täyttöasteesta	Varastokentän täyttymisaika tunneissa	Ramppi-nopeus vrt keski- määräiseen ramppi- nopeuteen purkaus-ajan ylityksen takia	Varastokentän joustovara	Varasto-kentän tarvittava koko
10	Ma	21	14	26	106 %	43 %	615
10	Ti	16	11	34	106 %	0 %	1079
10	Ke	9	6	59	100 %	68 %	345
10	To	15	10	36	105 %	53 %	509
10	Pe	9	6	59	102 %	68 %	343
10	La	15	10	36	100 %	21 %	849
10	Su	13	8	43	100 %	64 %	388

Taulukko 48 Testi 6, sataman läpivirtauksen muutos

NOUDOT

Vko	Pvä	Nouto- teho 1. tunnin aikana	Nouto- teho 2. tunnin aikana	Nouto- teho 3. tunnin aikana	Nouto- teho purka- misen loppu- aikana	Noudot purkauspäivän aikana purkamisen loputtua	Noudot yhteensä 7 - 11 keski- määräisell ä nouto- teholla	Noudot yhteensä 11 - 18	Jää	Sataman läpivirtaus 1. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 2. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 3. tunnin aikana	Sataman läpivirtaus 4. tunnin aikana
10	Ma	90 %	80 %	70 %	55 %	37 %	148	48	17	123	100	88	69

10 Ti	90 %	80 %	70 %	55 %	37 %	148	49	17	113	100	73	41
10 Ke	90 %	80 %	70 %	55 %	37 %	148	20	15	68	60	53	41
10 To	90 %	80 %	70 %	55 %	37 %	148	46	17	113	100	88	69
10 Pe	90 %	80 %	70 %	55 %	37 %	148	41	16	68	60	53	41
10 La	90 %	80 %	70 %	55 %	37 %	148	30	15	113	100	61	41
10 Su	90 %	80 %	70 %	55 %	37 %	93	0	0	90	80	40	14

Testissä 7 oli useita vaiheita. Alukset täytettiin puoliperävaunuilla, jolloin purkausajat ylittyivät 1 – 2 tunnilla. Jotta alusten purkaus saataisiin loppumaan kello 11.00 mennessä, ramppinopeuden tulisi kasvaa 23 – 35 prosenttia. Seuraavaksi selvitettiin vetomestareiden vetoteho, jolla alukset saataisiin purettua kello 11.00 mennessä. Vetotehon laskennassa käytetään muunnosta ramppitehosta. Kaksoisrampin ramppitehon 50 vetoa tunnissa tulee kasvaa 67 – 69 vetoon tunnissa. Maarampin ramppitehon 25 vetoa tunnissa tulee kasvaa ramppitehoon 39 vetoa tunnissa. Kaksoisrampilta vedettäessä vetomestarin vetotehon tulee kasvaa 7,6 vetoon tunnissa eli 34 % suuremmaksi. Maarampilta vedettäessä vetomestarin vetotehon tulee kasvaa 56 % suuremmaksi eli vetotehoon 7,9 vetoa tunnissa.

Testin 7 viimeisenä vaiheena on selvittää, millä pääkannen tyhjentämisen maksimiteholla tavoitteeseen päästäisiin. Tätä osa ei voida mallintaa laskentamallilla, koska mallista puuttuu maksimitehon mitatut tiedot. Tulos arvioidaan käyttämällä kohdasta 4.4 laskettua tietoa aluksen pääkansien kaistametriien suhteesta koko aluksen kaistametreihin. Jos 70 % aluksesta ulos vedettävistä puoliperävaunuista on pääkansilla ja 30 % muilla kansilla, niin ensimmäiselle voidaan käyttää maksimitehoa, jälkimmäiselle ei. Aluksen pääkannelta vedettäessä vetoteho on keskimääräistä korkeampi, muilta kansilta vedettäessä keskimääräistä matalampi.

Pääkannelta vedettäessä noin 40 % vedoista lyhentää aluksen purkausaikaa, loput 30 % tuotetaan keskimääräisellä vetoteholla, samoin kuin muilta kansilta vedettävät 30 %.

Tulokset on esitetty taulukossa 49. Kokoluokan 4216 kaistametriä aluksessa kymmenen vetomestarin olisi purettava puoliperävaunuja yli kaksinkertaisella vetoteholla lähes tunnin ajan. Yksi veto kestää 4 minuuttia 24 sekuntia, joten tämä maksimiteho voidaan saavuttaa kohdan 4.4.2 laskelmien perusteella vain vedettäessä aluksen pääkannen riviltä 1 – 4. Jos tavoitteena on vetää yli 100 puoliperävaunua varastokentälle maksimiteholla, niin riveillä 1 – 4 on ala- ja yläkannella kaksi kolmasosaa tästä määrästä. Jos kannella 2 työskentelee taulukon 52 mukaan 4 vetomestaria, kaksoisrampin alarampin yli vedetään 66 sekunnin välein puoliperävaunu varastokentälle. Rampin yli kulkee 33 sekunnin välein joko tyhjä vetomestari alukseen tai täysi vetomestari kentälle. Normaalilla 50 vedon ramppiteholla rampin yli kulkee vetomestari minuutin välein joko tyhjänä tai täytenä. Tarvittava vetotehon nosto on 50 % noin tunnin ajaksi. Ramppi on tekninen rajoite, joka estää vetotehon kasvattamisen testin 7 mukaisesti.

*Taulukko 49 Testi 7c, tarvittava maksimiteho*

Tapahtuma	Lukumäärä	Yksikkö
Vetoja aluksen purkauksen aikana	270	vetoa
Ramppiteho	67	vetoa tunnissa
Purkausaika tuntia	4	tuntia
vetojen määrästä 60 %	162	vetoa
keskimäärin ramppiteholla	50	vetoa tunnissa
	3,25	tuntia

jäljelle jäävät	108	vetoa
purettava maksimiteholla	136	vetoa tunnissa
vetomestareita 10 kpl	13,6	vetoa per vetomestari
purkausaika	45	minuuttia

Testiä 7 voitaisiin jatkaa testaamalla sataman varastokentän joustamista ja tarvittavaa noutotehoa. Testaaminen voidaan tehdä jatkotutkimuksissa sen jälkeen, kun maksimitehon käytöstä ja noutoprofiilien vaikutuksista saadaan lisää tietoa.

*Taulukko 50 Testi 7a. Lisätään puoliperävaunujen määrää ja tarkistetaan purkausajan ylitys*

Viiko	Päivä	Kaistametriä	Pv kpl	Muu lasti kaistametriä	Lastauskerroin	Ramppi-teho	Purkaus-aika min pv	Purkaus-ajan ylitys min alus	Ramppi-nopeus vrt keskimääräiseen ramppi-nopeuteen purkaus-ajan ylityksen takia
10	Ma	4216	270	225	99 %	50	324	84	126 %
10	Ma	4216	270	225	99 %	50	324	84	126 %
10	Ma	2606	155	275	98 %	25	372	132	135 %
10	Ma	3200	10	250	12 %	50	12	0	100 %
10	Ti	4216	270	255	100 %	50	324	84	126 %
10	Ti	2606	155	275	98 %	25	372	132	135 %
10	Ti	1690	75	557	98 %	25	180	0	100 %
10	Ti	1890	48	320	54 %	25	115	0	100 %
10	Ke	4216	270	233	100 %	50	324	84	126 %
10	Ke	2606	155	275	98 %	25	372	132	135 %



10 To	4216	275	130	99 %	50	330	90	127 %
10 To	4216	260	414	100 %	50	312	72	123 %
10 To	2606	155	230	96 %	25	372	132	135 %
10 Pe	4216	270	231	100 %	50	324	84	126 %
10 Pe	2606	155	275	98 %	25	372	132	135 %
10 La	4216	270	151	98 %	50	324	84	126 %
10 La	4216	103	770	58 %	50	124	0	100 %
10 La	2606	98	230	64 %	25	235	0	100 %
10 Su	4216	275	35	97 %	50	330	90	127 %
10 Su	2606	155	275	98 %	25	372	132	135 %
10 Su	1690	57	287	67 %	25	137	0	100 %

*Taulukko 51 Testi 7b. Selvitetään vetoteho, jolla koko alus pystytään purkamaan klo 11.00 mennessä*

Viikko	Päivä	Kaistametriä	Pv kpl	Muu lasti kaistametriä	Lastauskerroin	Ramppi-teho	Purkaus-aika min pv	Purkaus-ajan ylitys min alus	Ramppi-nopeus vrt keskimääräiseen ramppi-nopeuteen purkaus-ajan ylityksen takia
10 Ma		4216	270	225	99 %	67	242	2	101 %
10 Ma		4216	270	225	99 %	67	242	2	101 %
10 Ma		2606	155	275	98 %	39	238	0	100 %
10 Ma		3200	10	250	12 %	50	12	0	100 %
10 Ti		4216	270	255	100 %	67	242	2	101 %
10 Ti		2606	155	275	98 %	39	238	0	100 %
10 Ti		1690	75	557	98 %	25	180	0	100 %

10	Tl	1890	48	320	54 %	25	115	0	100 %
10	Ke	4216	270	233	100 %	67	242	2	101 %
10	Ke	2606	155	275	98 %	39	238	0	100 %
10	To	4216	275	130	99 %	69	239	0	100 %
10	To	4216	260	414	100 %	65	240	0	100 %
10	To	2606	155	230	96 %	39	238	0	100 %
10	Pe	4216	270	231	100 %	67	242	2	101 %
10	Pe	2606	155	275	98 %	39	238	0	100 %
10	La	4216	270	151	98 %	67	242	2	101 %
10	La	4216	103	770	58 %	50	124	0	100 %
10	La	2606	98	230	64 %	25	235	0	100 %
10	Su	4216	275	35	97 %	69	239	0	100 %
10	Su	2606	155	275	98 %	39	238	0	100 %
10	Su	1690	57	287	67 %	25	137	0	100 %

### 3 Satamaoperaattorin prosessit

Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
1. Alusten purkauksen suunnittelu purkausta edeltävänä päivänä	Satamaoperaattori, satamaoperaattorin terminaali	1.1 Varustamon tuottamien tietojen vastaanotto 1.2 Tuontitrailerien käsittelyä koskevien suunnitelmien tuottaminen 1.3 Aikataulujen toimittaminen tuontitrailereita noutaville kuljetusliikkeille 1.4 Tilavarausten tekeminen varastokentiltä	Finnsteve 2010b
1.1 Varustamon tuottamien tietojen vastaanotto, purkausta edeltävän päivän aamupäivä	Satamaoperaattori, satamaoperaattorin terminaali	1.1.1 Manifestin vastaanottaminen	Laivan pakkausluettelo sisältää pääosan laivan kuljetustiedoista. Varustamon omista laivoista on lisäksi lastauksen yhteydessä tuotettu sähköinen lastikartta.
1.2 Tuontitrailerien käsittelyä koskevien suunnitelmien tuottaminen, purkausta	Satamaoperaattori, satamaoperaattorin terminaali	1.2.1 Laivakäyntikatselmuksen valmistuminen	Satamaoperaattorin tuotantosuunnitelmassa ilmoitetaan alusten suunnitellut tulo- ja lähtöajat. Liikenteestä 98 % on mitattu olevan suunnitellun aikaikkunan mukaista.

Prosessin vaihe ja ajankohta edeltävän päivän aamupäivä	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
Purkausta edeltävän päivän aamupäivä	Satamaoperaattori, satamaoperaattorin terminaali	1.2.2 Purkausplanin valmistuminen	Aluskohtainen purkauksen ja lastauksen suunnitelma. Purkaus perustuu sähköiseen lastikarttaan. Varustamon ja tukkukauppojen vaatimusten mukaisesti kaikki laivat on purettava kello 11 mennessä. Tällöin tukkukaupan lastit ehtivät tukkukaupan jakelurunkoihin, jotka lähtevät Suomessa jatkojakeluun kello 14.
Purkausta edeltävän päivän aamupäivä	Satamaoperaattori, satamaoperaattorin terminaali	1.2.3 Maininnat viedään suunnitelmiin	Satamaoperaattorin varastokentille viikonlopun yli jäävien yksiköiden erityisohjeet. Käytetään vihannesten ja hedelmien paleltumisen ehkäisyyn marraskuun alusta maaliskuun loppuun.
Purkausta edeltävän päivän iltapäivä	Satamaoperaattori, satamaoperaattorin terminaali	1.2.4 Purkaussuunnitelman valmistuminen	Purkaussuunnitelma varaa kapasiteettitarpeet kuten vetomestarit, aluksissa purkauksen toteutusta ohjaavat näyttömiehet ja kuljetusyksiköiden sidonnat poistavat jalkamiehet. Alusten purkamisessa ei ole vakiomiehitystä. Eri alusluokkien purkamiseen varataan eri määrä työkoneita ja työntekijöitä. Työntekijöiden tarvetta vähentävät esimerkiksi automaattipukit (Finnmaid), mutta kasvattavat lastaaminen purettavaksi vanhan mallisilla vetomestareilla (Puolan satamat).
			Vuosaarella on 61 vetomestaria. Turussa on 15 vetomestaria.

Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
1.3. Aikataulujen toimittaminen tuontitrailereita noutaville kuljetusliikkeille	Satamaoperaattori, satamaoperaattorin terminaali	1.3.1 Asiakkaalle toimitetaan aika-avisointi	<p>Jokaiselle purettavalle kuljetusyksikölle lasketaan aikaikkuna, jonka jälkeen kuljetusyksikkö on vedetty ulos aluksesta ja pudotettu varastokentälle..</p> <p>Kuljetusyrityksille on ilmoitettu aikaikkuna, jonka kuluessa lastit ovat noudettavissa. Aikaikkuna eli purkaushetki on määritelty aluksen varastokirjanpidon ilmoittaman lastin sijaintipaikan ja keskimääräisen ramppitehon perusteella.</p> <p>Yksikön laivastatuloaika ilmoitetaan +- 15 minuutin tarkkuudella, jotta kuljetusliike voi ajoittaa noudot varastokentiltä alusten purkauksen mukaisiksi.</p> <p>Aikaikkunan ennusteen on mitattu pitävän paikkansa 98 % suunnitelluista aikaikkunoista.</p> <p>Noudoista 30 % toteutuu aika-aviisissa määrätyssä aikaikkunassa. Noudoista 55 % toteutuu purkauksen aikana kello 11.00 mennessä. Loput noudetaan iltapäivän ja illan aikana, paitsi puretuista 8 % jää noudettavaksi seuraavana päivänä.</p> <p>Kuormaa haettaessa kuljetusliikkeet valtuuttavat autoja hakemaan lasteja. Kuormaa haettaessa on tiedettävä satamanosa, kuorman vastaanottaja tai luovuttaja sekä nostoalue ja – ruutu (Kuorma-autoliikenteen yleinen satama-asiointiohje, 2006).</p> <p>Aika-avisoinnin noudattaminen vaikuttaa suoraan</p>

Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
1.4 Tilavarausten tekeminen varastokentiltä, purkausta edeltävän päivän lopussa 2. Aluksen purkaus saapumispäivän aamuna	Satamaoperaattori, satamaoperaattorin terminaali	1.4.1 Yhtenäisen kenttätilan varaaminen jokaisen aluksen purkausta ja lastausta varten  2.1 Ulosajon valmistelu 2.2 Kuorma-autojen ulosajo 2.3 – 2.7 Vetomestari vetää varastokentälle 2.8 Purkauksen ohjaus 2.9 – 2.10 Noudot varastokentältä	aluksen purkausnopeuteen, kun vetomestarit voivat pudottaa puoliperävaunut alusta lähinnä oleviin ruutuihin. Jos nouto ruudusta viivästyy, vetomestarien pudotukset siirtyvät kauemmaksi aluksesta, ajamiseen käytetty osuus ajasta lisääntyy ja purkaus hidastuu. Asiakkaat jatkavat purettujen yksikköjen noutamista varastokentältä. Riittävän suuret yhtenäiset varastokentän alueet varmistuvat seuraavan päivän suunnittelua varten vasta päivän lopuksi.
2.1 Ulosajon valmistelu	Laiturialue	2.1.1 Peräportin ja perärampin avaus 2.1.2 Perärampin ja maarampin sekä kaksoisrampin ylärampin tasaus	Finnsteve 2010b.  Vuosaaren sataman satamaoperaattori purkaa roro- ja ropax-alukset perärampin kautta. Ropax-alukset ja Hansa-luokan roro-alukset käyttävät kaksoisrampin yläramppia purkaukseen. Muut alusluokat voivat kiinnittyä kaksoisramppiin ja käyttää maaramppia, mutta eivät kaksoisrampin yläramppia.

Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
2.2 Kuorma-autojen ulosajo	Kuljetusliikkeet	<p>2.2.1 Peräportin edustan tyhjentäminen kuorma-autoista</p> <p>2.2.1.1 Ropax-alukset ja Hansa-luokan alukset kansilta 2 ja 3 kaksoisrampin maaramppia ja yläramppia pitkin</p> <p>2.2.1.2 Muiden alusluokkien alukset kannelta 2 maaramppia pitkin</p>	<p>Kuorma-autot ja täysperävaunut ajavat ulos aluksesta ja jatkavat maantiekuljetuksena joko suoraan loppuasiakkaalle tai kuljetusyrityksen jakeluterminaaliin.</p> <p>Uusissa ja suurissa aluksissa kuorma-autojen ulosajo on nopea. Vanhoissa aluksissa ensin on tyhjennettävä kannen 2 ulosajoväylälle työnnetyt irtoperävaunut, ennen kuin kuorma-autot pääsevät siirtymään aluksen sisäisiä ramppia pitkin kannelle 2 ja edelleen ulosajoväylän kautta rampin yli.</p>
2.3 Vetomestarit ajavat rampilta sisään ruumaan	Vetomestari	<p>2.3.1 Kokoluokan 4216 kaistametriä ropax-alukset ja Hansa-luokan roro-alukset</p> <p>2.3.2 Roro-alukset, joissa peräramppi on keskellä</p> <p>2.3.2 Vanhemmat kapeat roro-alukset, joissa kapea peräramppi on aluksen sivussa</p>	<p>Kokoluokan 4216 aluksen purkamiseen käytetään 10 vetomestaria. Vetomestarit jakautuvat kansille 2 ja 3. Kun kansien välisten ramppien kulkuaukot on vedetty tyhjiksi, kannen 3 vetomestarit jakautuvat kansille 1 ja 4. Kansilta 1 ja 4 ajaa aina yksi vetomestari täytenä ulos, yksi tyhjänä sisään ja yksi kiinnittää ulos vedettävää lastia.</p> <p>Purkaukseen käytetään 6 vetomestaria. Kaikki vetomestarit vetävät kantta 2 tyhjäksi. Kun kansien välisten ramppien kulkuaukot on vedetty tyhjiksi, vetomestarit jakautuvat kansille 1, 2 ja 3.</p> <p>Kuten edellä, mutta kapean maaramppin ja tukossa olevien kulkuväylien takia aluksessa voi alussa työskennellä vain yksi vetomestari kerrallaan. Kannelta 2 on purettava noin puolet lastista, ennen</p>

Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
2.4 Veto ruumasta rampille	Vetomestari	2.4.1 Ajo rampin yli alukseen, kaistan valinta ja ajo vedettävän yksikön luo	kuin sisäisiä ramppoja pitkin kannelle 2 alas ajavat kuorma-autot saavat riittävästi tilaa siirtymiseen ulosmenoväylälle. Vetomestareiden keskinopeudeksi on mitattu aluksen kapeilla sisäisillä rampeilla vain 4 km/h. Vetomestareita tarvitaan kaksinkertainen määrä ramppinopeuden ylläpitämiseksi.
		2.4.2 Perävaunun kiinniotto laivalla	Vetomatkat aluksen kansilla ja kansien välillä pitenevät aluksen purkauksen edistyessä. Yhteen vetoon aluksen sisällä kuluva ajamisen aika muuttuu lastin purkauksen edistyessä. Satamaoperaattorin ilmoittama mitattu keskimääräinen ajonopeus laivalla on 8 km/h.
		2.4.3 Veto kansilta rampin yli	Satamaoperaattorin ilmoittama mitattu aika työvaiheelle on 40 sekuntia, sisältää jarruletkujen kiinnityksen. Ramppi voidaan ylittää nopeutta pudottamatta, kun aluksen asentoa rampin suhteen tasataan vettä pumppaamalla koko purkauksen ajan. Vanhemmissa aluksissa tasausta ei ole, joten perärampin ja maarampin väliin nousee aluksen perän keventyessä kynnys. Vetomestarin on pysähdyttävä ennen kynnyksen ylitystä ja tämä hidastaa purkausta. Vuosaaren satamassa ei käy aluksia, joista puuttuu tasaus. Turun satamassa käy.



Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
2.5 Veto varastokentälle	Vetomestari	2.4.4 Perävaunun jalkojen veivaus alas ruutuun vientiä varten	Satamaoperaattorin ilmoittama mitattu aika työvaiheelle on 30 sekuntia, jalat veivataan alas rampin ylityksen jälkeen Vetomestarit vetävät uuden yksikön varastokentälle aina 2 minuutin välein. Vetomatka sisältää matkan ensimmäisen ruudun kohdalle, jonka mitatuksi pituudeksi satamaoperaattori on ilmoittanut 20 m ja matkan ruutuun. Jokaisen ruudun leveydeksi satamaoperaattori on ilmoittanut 5 m.
2.6 Pudotus ruutuun	Vetomestari	2.6.1 Perävaunun irrotus kentällä	Vetomestarit pudottavat yksiköt kalanruotoriveillä kahteen riviin tai läpiajettavissa riveissä yhteen riviin. Kun vetomestari pudottaa yksikön varastoruutuun, tieto siirtyy portille. Satamaoperaattorin ilmoittama mitattu aika työvaiheelle on 30 sekuntia, sisältää jarruletkujen irrotuksen.
2.7 Paluu rampille	Vetomestari		Vetomestareita on yhdellä varastokentän käytävällä samanaikaisesti kaksi, toinen tyhjänä palaamassa rampille ja toinen täynnä viemässä ruutuun. Vetomestari palaa tyhjänä ilman kuormaa noudattaen satama-alueella sallittua ylintä keskinopeutta.
2.8 Aluksen purkauksen ohjaus	Satamaoperaattori, työnjohtaja	2.8.1 Ramppinopeuden ylläpito	Ramppitehon ylläpitäminen on paras tapa hallita alusaikataulujen pitäminen satamassaolon aikaikkunassa ja aluksen purkauksen pitäminen suunnitelman mukaisena. Purkauksen edistyessä

Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
			vetomatkat pitenevät sekä aluksen kansien välillä että alukselta varastokentän vapaisiin ruutuihin. Ramppitehoa ylläpidetään tavoitetasolla lisäämällä aluksessa työskentelevien vetomestareiden lukumäärää.
		2.8.2 Vetomestareiden vedot	Mikäli aluksen lastaamiseen ja purkuun jää lyhyt aika, työnjohtaja siirtää lasteja aluksen sisällä alemmille kansille, jotta ramppinopeus pidetään hyvin korkealla koko purkauksen ajan. Jopa 10 tuntia voidaan pitää lyhyenä aikana aluksen purkuun ja lastaamiseen.
		2.8.3 Varastokenttien täyttöaste	Tuotantoprosessia ohjataan koko aluksen purkamisen ajan. Vetomestari pudottaa puoliperävaunun ensimmäiseen havaitsemaansa vapaaseen ruutuun. Ruudusta lähtenyt puoliperävaunu saattaa olla vielä matkalla operaattorin portille, mutta vetomestarin ilmoittama tieto korvaa muut varastokentän kirjanpidon tiedot. Jos purkaukseen varattu varastokenttä on mitoitettu riittävän suureksi, varastokenttä ei muodosta pullonkaulaa ja laituripaikat pysyvät itsenäisesti ohjattavina. (Rautiainen, 2010) Terminaalin operaattori valvoo varastokenttien täyttöastetta. Operaattori voi pyytää kuljetusyritystä tai loppuasiakasta nopeuttamaan varastonsa kiertoa terminaalin varastokentillä.

Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
		2.8.4 Aluksen purkamisen ja lastaamisen ajoittaminen	(Huoltovarmuuskeskus, 2010) Kokoluokan 4216 kaistametrin alus voidaan lastata ja purkaa samanaikaisesti, mikäli alus on kiinnittynyt kaksoisramppiin. Lastaus voi käynnistyä kansien 1 ja 4 tyhjennyttyä. Vetomestarit ajavat kolmion muotoista reittiä aluksen kansilta 2 tai 3 tuontikentälle, pudottavat yksikön, hakevat yksikön vientikentältä, vetävät yksikön kansille 1 tai 4, jättävät sidottavaksi, siirtyvät aluksen sisäisiä ramppeja pitkin takaisin kansille 2 tai 3 ja ottavat uuden yksikön vedettäväksi varastokentälle. Purkauksen alussa vetomatkat ovat lyhyitä ja vetomestareita tarvitaan vähemmän. Purkauksen lopussa vetomatkat pitenevät ja ramppitehon ylläpitäminen edellyttää vetomestareiden määrän kasvattamista. Porrastetusti saapuvien alusten purkauksessa vetomestareita voidaan ohjata alusten välillä purkauksen etenemisivaiheen mukaisesti.
		2.8.5 Samanaikaisesti purettavien alusten purkauksen porrastut	
2.9 Noudot varastokentältä	Kuljetusliikkeet		Varastokentällä vetomatkojen pituuteen vaikuttaa tahti, jolla noutajat hakevat nupeillaan perävaunuja pois terminaalista. Lähinnä aluksen perää vapautuvat ruudut vähentävät tarvetta vetää yksiköitä kauempana vapaina oleville paikoille. Noutamaan saapuvat nupit tunnistetaan kulkuväylillä automaattisesti. Portti antaa noudon

Prosessin vaihe ja ajankohta	Tekijä ja paikka	Kuvaus	Perustelut
2.10 Ulosajo	Kuljetusliikkeet		<p>valmistumisesta tiedon odottavalle autolle, ja auto noutaa yksikön. Satamaoperaattori mittaa noutoon kuluvaan aikaan gate-to-gate ja laskentaa vasten ilmoitettiin keskimäärin kuluva noutoaika 8 - 12 minuuttia gate-to-gate (Finnsteve 2010a). Noutavia autoja voi yhdellä käytävällä olla samanaikaisesti neljä.</p> <p>Maksimaalisella noutomäärällä purkaminen ja noutaminen pysyvät pienellä viipeellä tasapainossa. Viivettä syntyy noutoruutu-tiedon välittämisestä operaattorin portin ulkopuolella odottavalle kuljetusyriykselle.</p> <p>Noudettu yksikkö pysäköidään ulosmenoalueen ruutuun ja luovutuksen jälkeen yksikkö voi ajaa ulos terminaalista. EU:n sisäisessä liikenteessä tai vapaasti kuljetettavaksi luovutetut yksiköt on kirjattu suoraan tarkastuspisteessä ulos terminaalista ja yksiköt poistuvat suoraan portin kautta. (Finnsteve, 2010c)</p>

## 4 Vetomestareiden mallintaminen

### 4.1 Vetomestareiden käyttö aluksen kansilla

Vetomestareita käytetään aluksen kansilla ja kaistoilla eri tavoin aluksen purkauksen edetessä. Tässä kappaleessa kuvataan vetomestareiden käyttöä. Vetomestareiden käytöstä tarvitaan tarkemman tason tietoja erityisesti silloin, kun lasketaan aluksen purkausta maksimiteholla kohdassa 4.4. Vetomestareiden jakautuminen aluksen kansille on havainnollistettu taulukossa 52 (Takanen, 2010).

*Taulukko 52 Vetomestareiden jakautuminen aluksen kansille*

Aluskoko kaistametriä	Vetomestareita kpl kannella 2 pääkannen purkauksen aikana	Vetomestareita kpl kannella 3 pääkannen purkauksen aikana	Vetomestareita kpl aluksen kansilla pääkannen purkauksen jälkeen, kannet 1, 2, 3 ja 4
4216	4	6	3, 4, -, 3
3200	4	6	3, 4, -, 3
2606	6	-	2, 2, 2
2178 – 1890	6	-	2, 2, 2
1278 - 1690	6	-	2, 2, 2

Lastin sijainti ja kansirakenteet vaikuttavat vetomestareiden työskentelyn nopeuteen ja aluksen purkaukseen tarvittavien vetomestareiden lukumäärään. Pääkannen ja varastokentän välillä ei ole korkeuseroja, joten veto aluksen sisällä rampille ja rampin ylitys on nopeaa. Kaksoisrampin ylärampilta vetäminen on hitaampaa, koska maanpinnan tasolle laskeudutaan yli 100 metriä pitkää, kapeaa ramppia pitkin. Muilta kansilta lasti vedetään pääkannelle aluksen sisäisiä ramppeja pitkin, joten purkaus on keskimääräistä ramppitehoa hitaampaa.

Aluksen yksittäisten kansien purkausajan laskentaa varten on tiedettävä aluksen kaistametriä jakautuminen kansien kaistoille. Kun aluksen kaistametrin jaetaan aluksen pituudella, tuloksena on aluksen kaikkien kaistojen lukumäärä. Tämän jälkeen kaistat jyvitetään aluksen kansille.

Alimmilla kannella on 2 tai 3 kaistaa, ylimmillä 4 tai 5. Tällä menetelmällä tuotetut eri kansilla olevat kaistat on koottu taulukkoon 53.

*Taulukko 53 Alustyyppit, kannet ja kansilla olevat kaistat*

Alus- tyyppi	Alus	Kaista- metrit	Pituus m	Kaistoja kansilla	Pääkansi
Ropax	Finnstar	4216	218,8	1)	2 ja 3
Ropax	Nordlink	4216	218,8	1)	2 ja 3
Ropax	Finnmaid	4216	218,8	1)	2 ja 3
Ropax	Finnlady	4216	218,8	1)	2 ja 3
Ropax	Europalink	4216	218,8	1)	2 ja 3
Roro	Longstone	2606	193	3:5:5	2
Roro	Beachy Head	2606	193	3:5:5	2
Roro	Finnforest	2100	156	3:5:5	2
Roro	Antares	2090	157,6	3:5:5	2
Roro	Transeuropa	3200	183	3:6:6:3	2 ja 3
Roro	Birka Carrier	1690	154,5	3:4:4	2
Roro	Finnkraft	1890	162,2	3:5:4	2
Roro	Finnhawk	1890	162,2	3:5:4	2
Roro	Birka Transporter	1278	122	2:4:4	2
Roro	Birka Trader	1690	154,5	3:4:4	2
Roro	Birka Express	1690	154,5	3:4:4	2
Roro	Baltica	2170	157	3:5:4	2

1) Kannen 1 ja 2 sekä 4 ja 3 suhde on 1:3. Kansilla on kaistoja 3:8:8:3(Takanen, 2010). Laskelmissa on käytetty kansille 1 - 4 on kaistametrejä keskimäärin 530 m, 1580 m, 1580 m, 530 m. Tarkat luvut ovat 322 m, 1511 m, 1452 m, 938 m (Helminen, 2010). Muiden kansien kaistametrit lasketaan vastaavasti suhdelukujen avulla.

Alusten lastina saapuvat kuorma-autot ovat kansilla 2 ja 3. Puoliperävaunut ja muut kuljetusyksiköt ovat tasaisesti jakautuneina kaikille kansille. Kansilla 2 ja 3 olevien puoliperävaunujen suhde aluksen koko puoliperävaunuihin on taulukon 53 mukaan  $(1511 + 1452) * 100 \% / 4216 = 70 \%$

*Taulukko 54 Lastin sijoittelu kansille 1 - 4 eri alustyypeillä viikon 2 maanantaina*

Koko	Ka kpl	Ka kansi 2	Ka kansi 3	Pv kpl	Pv kansi 1	Pv kansi 2	Pv kansi 3	Pv kansi 4
4216	38	19	19	146	10	63	63	10
4216	46	23	23	162	16	65	65	16
2606	0	0	0	80	0	80	0	0
3200	0	0	0	10	0	10	0	0

## 4.2 Vetomestarin kapasiteetin käytön laskenta

Vuosaaren satamassa on 61 vetomestaria. Mallinnettavien alusten vetomestarien tarve on ilmoitettu taulukossa 52.

Vetomestarin kapasiteetin käyttö on mallinnettu ensin ilman noutojen huomioimista. Vetomatkat lasketaan aluksen ruumassa (10) tai (13) ja varastokentällä (15) tai (16) tai (17). Vetonopeuden rajoitteena on vetomatkojen lyhyys, kun vetonopeus ei ehdi nousta korkealle. Alusten purkamisen aika  $t$  = kuorma-autojen ulosajoaika + vetomestareiden kiinteät työvaiheet + (18).

Vetomestarin vetomatkat noudot huomioiden on mallinnettu kaavassa (19) ja vetoaika kaavoissa (20a) ja (20b). Rajoitteena on ruuhka kentän käytävillä ja korkeintaan neljä noutavaa autoa käytävällä. Rajoitteena on lisäksi käytävien määrä. Rajoitteena on myös aika, joka kuluu siirtymiseen operaattorin portilta ruutuun noutamaan puoliperävaunua, viipeet olivat aikaisemmin +/- 1 tunti, nyt +/-15 minuuttia.

### 4.2.1 Vetomestarin vetomatka aluksen kansilla

Vetomestarin ajamiseen käyttämä matka aluksen kansilla voidaan laskea usealla eri tavalla. Keskimääräisillä ramppitehoilla laskemiseen esitellään neljä vaihtoehtoista tapaa. Laskentaan voidaan valita saatavilla oleviin tietoihin parhaiten sopiva laskentatapa.

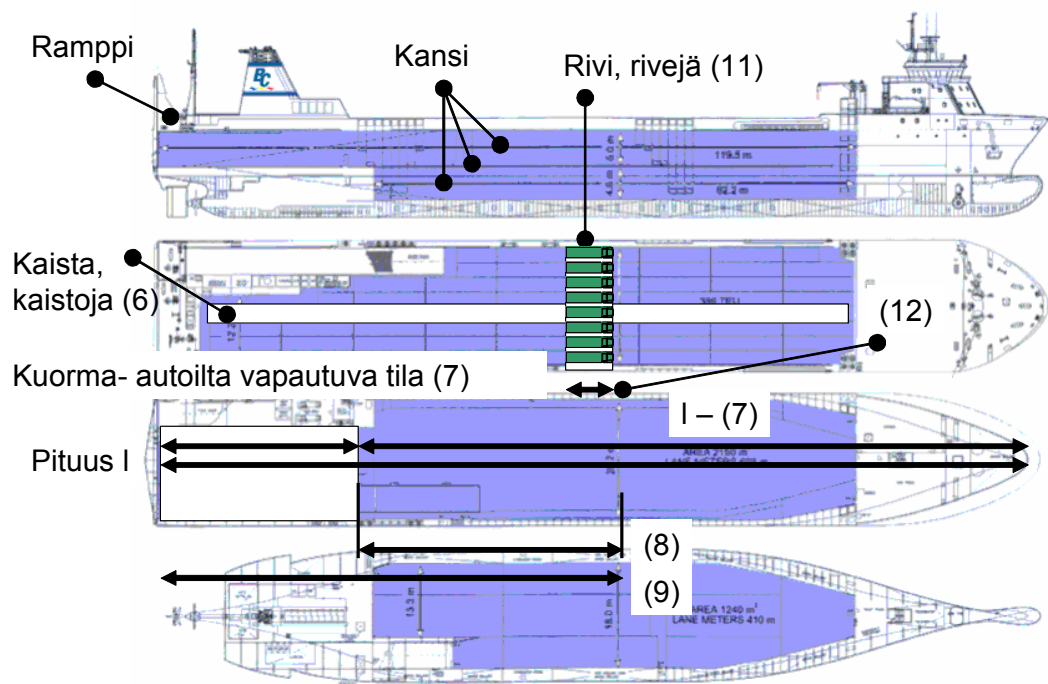
Muuttujat:

$ka(n)$  = kuorma-autojen määrä kannella  $n$

$l$  = aluksen pituus

$p_v(n)$  = puoliperävaunujen määrä kannella  $n$





Kuva 46 Aluksen rakenne, käytetyt muuttujat ja tuotetut kaavat

Kuva

46.

Lähde:

([http://www.birkacargo.com/English/Eng\\_Vessels\\_Express.htm](http://www.birkacargo.com/English/Eng_Vessels_Express.htm))

### 1. Kuorma-autoilta vapautuvan tilan pituus

Perärampin ja ulos vedettävien puoliperävaunujen väliin jää tyhjää tilaa kuorma-autojen purkauksen jälkeen. Vetomestari ylittää tilan kahdesti jokaisen vedon aikana. Matkan pituus lasketaan valmiiksi kaikkia vetoja varten.

Kaistojen lukumäärä tutkittavalla kannella taulukosta 53. (6)

Kuorma-autoilta vapautuvan matkan pituus kannella  $n = ka(n)$   
 $\times 17 \text{ metriä} / (6)$  (7)

Muilta kuin pääkansilta purettaessa jokaiseen vetoon on lisättävä aluksen sisällä kuljetun kansien välisen rampin pituus kaksi kertaa.

### 2. Pääkannen vetomatkojen laskeminen noutojen keskipisteestä

Perävaunut noudetaan pääkannella perävaunurivien puolivälistä.

Matka kuorma-autojen ulosajon jälkeen jäljelle jääneen tilan puoliväliin =  $(l - (7)) / 2$ . (8)

<yhden vedon pituus pääkannella =  $2 \times ((7) + (8))$  (9)

kaikkien vetojen pituus pääkannella =  $p_v(n) \times (9)$  (10)

### 3. Yleistys vetomatkojen laskemiseen riveittäin

Ulos vedettävien rivien määrä kannella  $n = p_v(n) / (6)$  (11)

Rivien välimatka =  $(l - (7)) / (11)$  (12)

Puoliperävaunut eivät ole ryhmittyneet kuorma-autojen perään vaan ovat tasaisesti jakautuneina kaikille kansille. Yhden puoliperävaunun vetomatka kannelta rampille on keskimäärin rivien etäisyys rampilta. Rivien välissä voi olla myös muita kuljetusyksiköitä kuin ulos vedettäviä puoliperävaunuja.

Kaikkien vetojen pituus aluksen sisällä =

$$2 \times p_v(n) \times (7) + 2 \times (6) \times \sum_{n=1}^{(11)} (n - 1) \times (12) \quad (13)$$

Kaavan ensimmäinen osa lisää kaikille puoliperävaunuja ulos vetäville vetomestareille kuorma-autoilta vapautuneen tilan ylityksen. Ensimmäiselle riville vetomatka on yhtä suuri kuin kuorma-autoilta vapautuneen tilan ylitys. Kaavan jälkimmäinen osa laskee ensimmäisen rivin jälkeen vedettävälle riveille ja kaikille kaistoille ulosvedettävän matkan pitenemän rivi kerrallaan. Kaava kerrotaan kahdella, jotta saadaan vetomestarin matka tyhjänä ja täytenä.

### 4. Aluksen pituuteen ja lastin prosenttiosuuksiin perustuva keskimääräisten purkausmatkojen laskenta aluksen sisällä

Kuorma-autot on lastattu kansille 2 ja 3 perärampin läheisyyteen. Kun kuorma-autot ovat ajaneet ulos, vetomestarit aloittavat puoliperävaunujen purkauksen. Puoliperävaunujen ulos vetämiseen käytettävät keskimääräiset vetomatkat voidaan laskea, mikäli tunnetaan aluksen pituus, kaistametrioiden suhteelliset osuudet eri kansilla ja lastin

sijoittuminen eri kansille. Ajamiseen aluksen sisällä vaikuttaa kulku ylemmille kansille joko aluksen sisäisiä ramppoja tai kaksoisramppia pitkin. Tässä yhteydessä käsitellään aluksia, joista kannet 1 ja 2 puretaan maarampin kautta ja kannet 3 ja 4 ylärampin kautta. Satamaoperaattorin suurin päivittäinen kuormitus syntyy näistä aluksista. Muut alukset puretaan maarampin kautta ja aluksille voidaan käyttää keskimääräistä kapasiteettia.

Puoliperävaunut on lastattu kansille 2 ja 3 jäljelle jäävään tilaan tai kansille 1 ja 4. Ajomatkat aluksen sisällä purettaessa kansille 2 ja 3 lastattuja puoliperävaunuja lasketaan käyttäen eri kaavoja kuin purettaessa kansille 1 ja 4. lastattuja puoliperävaunuja

$l$  = aluksen kannen pituus

$l(ka)$  = kuorma-auton pituus sisältäen sidontaan tarvittavat kaistametrit

$l(pv)$  = puoliperävaunun pituus sisältäen sidontaan tarvittavat kaistametrit

$s$  = aluksen kaistametrin kokonaismäärä

$s(n)$  = aluksen kaistametrin määrä kannella  $n$

$ka(n)$  = kuorma-autojen määrä kannella  $n$

$pv(n)$  = puoliperävaunujen määrä kannella  $n$

$s(n, ka)$  = kuorma-autojen käyttämät kaistametrit yhteensä kannella  $n$

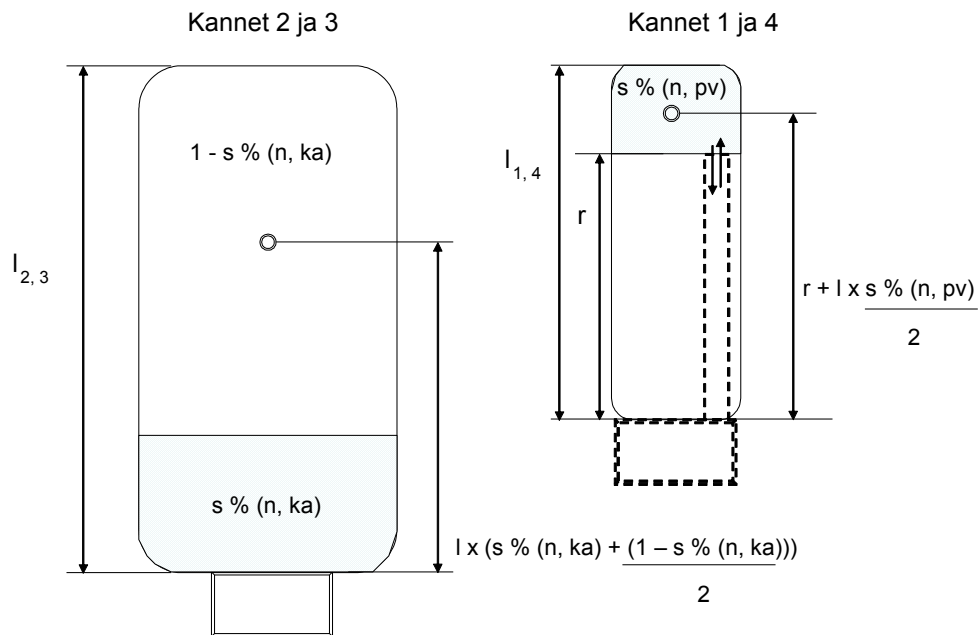
$s(n, pv)$  = puoliperävaunujen käyttämät kaistametrit yhteensä kannella  $n$

$s\%(n, ka)$  kuorma-autojen käyttämien kaistametrin osuus % kannen  $n$  kaistametreistä

$s \% (n, pv)$  puoliperävaunujen käyttämien kaistametrin osuus  
 $\%$  kannen  $n$  kaistametreistä

$r$  = rampin pituus kannelta 2 kannelle 1 tai kannelta 3 kannelle

4. Kokoluokan 4216 kaistametrin aluksissa sisärampin pituus on ilmoitettu olevan 40 m.



*Kuva 47 Aluksen kansirakenteista ja lastista laskettavat vetomatkat*

Kuorma-autojen poistuttua perärampin eteen jää tyhjä tila. Vetomestari ylittää tyhjän tilan kahdesti, ensin tyhjänä ja sitten täytenä. Puoliperävaunut ovat jakautuneet tasaisesti kannen  $n$  jäljelle jäävään tilaan. Kansille 2 ja 3 keskimääräinen vetomatka on:

$pv (n) \times 2 \times (l \times (s \% (n, ka) + (1 - s \% (n, ka))) / 2)$ , jossa

$s \% (n, ka) = s (n, ka) / s (n)$

Jos puoliperävaunut ovat välittömästi kuorma-autojen takana, on käytettävä kaavaa

$pv (n) \times 2 \times (l \times (s \% (n, ka) + s \% (n, pv))) / 2$ , jossa

$s \% (n, pv) = s (n, pv) / s (n)$

Kansille 1 ja 4 keskimääräinen vetomatka on:

$$2 \times r + 2 \times l \times s \% (n, pv) / 2$$

#### 4.2.2 Vetomestarin vetomatka varastokentällä

Ajomatka varastokentällä voidaan laskea usealla eri tavalla. Laskentaan voidaan valita saatavilla oleviin tietoihin parhaiten sopiva laskentatapa.

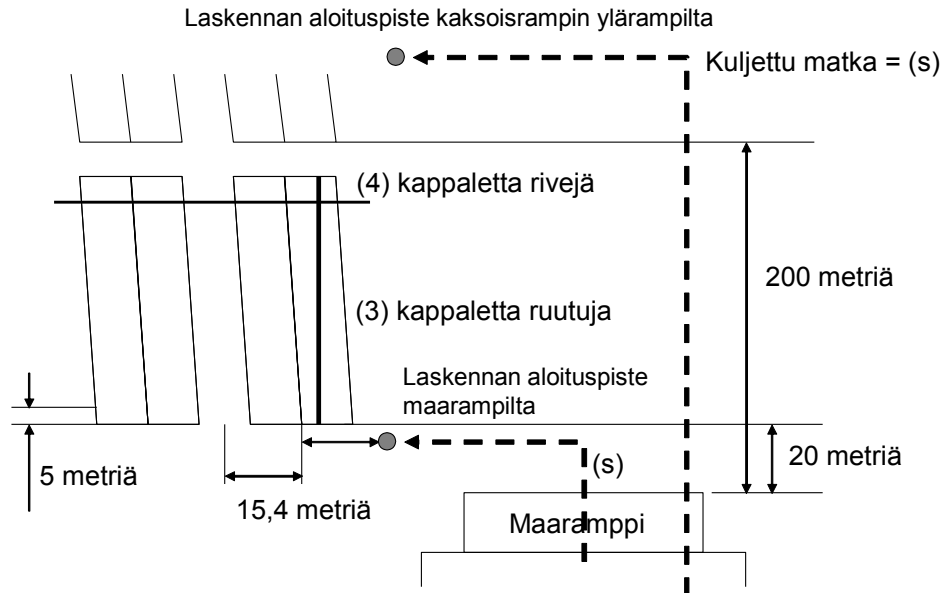
Muuttujat:

Matka purkausta varten valitun varastokentän n ensimmäiseen ruutuun, esimerkiksi 20 metriä, taulukosta 17 (14)

Kaava (4): aluksen purkaukseen varattujen rivien määrä.

Kaava (3): ruutujen määrä yhdessä purkaukseen valitussa rivissä.

Vetomatka pitenee 5 metriä pystysuunnassa jokaisen rivin ensimmäisen paikan täytyttyä. Vetomatka pitenee keskimäärin 15,4 metriä vaakasuunnassa jokaisen rivin täytyttyä. Kalanruotorivin tilantarve on 77 m<sup>2</sup> ja leveys 5 metriä, joten vaakasuora ajomatka ruutujen välillä on 15,4 metriä.



Kuva 48 Vetomatkojen laskentaan käytettävät tiedot

#### 1. Vetomatkojen laskenta varastokentälle vetojen keskipisteeseen:

$$\text{Vetomatka keskimäärin varastokentälle} = 2 \times p_v(n) \times ((14) + (4) \times 15,4 / 2 + (3) \times 5 / 2). \quad (15)$$

Kaavan kaksi ensimmäistä lukua sisältävät kaikkien vetomestareiden vedon ja paluun. Kaavan jälkimmäinen osa laskee aluksen purkaukseen varattujen rivien keskipisteen ja käyttää matkaa keskipisteeseen kaikille vedoille.

Jos noudot varastokentältä on otettu huomioon tarvittavien rivien (4) ja ruutujen (3) määrässä, tuloksena ovat lyhyemmät ajomatkat kuin laskettaessa ilman noutojen vaikutusta.

#### 2. Vetomatkojen laskenta varastokentälle riveittäin tai ruuduittain ilman noutojen vaikutusta

Laskentaan käytettävä kaava on muunnos kaavasta (13). Kuorma-autoilta vapautuvan matkan (7) sijasta ajetaan matka (s) kuvasta 48. Rivien (11) sijasta käytetään ruutuja (3). Matka (12) korvataan pituudella 5 metriä. Kaistojen (6) sijasta käytetään rivejä (4) summaavaa kaavaa.

Kaikkien vetojen pituus varastokentällä =

$$2 \times p_v(n) \times (s) + 2 \times \sum_{n=1}^{(4)} n \times 15,7 \times \sum_{n=1}^{(3)} n \times 5 \quad (16)$$

Kaavan ensimmäinen osa laskee kaikille varastokentälle vedoille matkan taulukon 17 mukaisen varastokentän aloituspisteeseen (s). Kaavan loppuosa laskee vetomestarin vetomatkan kaikille ruuduille ja kaikille riveille.

Jos noudot tulee ottaa huomioon, rivejä ja ruutuja varataan vain tarvittava määrä ja yhden noudon pituudeksi lasketaan varattujen rivien ja ruutujen keskipiste.

Kaikkien vetojen pituus varastokentällä =

$$2 \times p_v(n) \times (s) + 2 \times p_v(n) \times \left( \frac{\sum_{n=1}^{(4)} n \times 15,7 \times \sum_{n=1}^{(3)} n \times 5}{(4) \times (3)} \right) \quad (17)$$

Pääkannen purkaukselle voidaan käyttää eri kaavaa kuin muiden kansien purkaukselle. Kaavoja voidaan yhdistellä kuvaamaan aluksen eri kansien purkamisen etenemistä. Mikäli vetomestari purkaa tuontikuorman ja noutaa vientikuorman, vie vientikuorman alukseen, siirtyy aluksen sisäistä ramppia pitkin takaisin tuontikuormien purkaukseen ja poimii tuontikuorman ulos vedettäväksi, vetomestari ajaa kolmiota aluksen, varastokentän tuontikuormien ja vientikuormien välillä. Kaavaan lisätään vientikuorman käsittelystä syntyvä matka.

#### 4.2.3 Purkausaika

Jokainen vetomestari kulkee matkan aluksen ruumasta kentälle ja takaisin sekä lastia vetäen että ilman lastia. Maksimaalinen purkausaika on vetomestarin ramppitehon perusteella laskettu purkausaika.

Minimipurkausaika saadaan laskemalla kaikille vedoille kiinteät työvaiheet ja lisäämällä ajoaika ruumassa joko kaavasta (10) tai (13), ensin tyhjänä ja sitten lastia vetäen. Lopuksi lisätään ajoaika

varastokentällä joko kaavasta (15), (16) tai (17), ensin tyhjänä ja sitten lastia vetäen.

$v(1)$  = Vetomestarin ajonopeus aluksen ruumassa ilman lastia

$v(2)$  = Vetomestarin ajonopeus aluksen ruumassa puoliperävaunua vetäen

$v(3)$  = Vetomestarin ajonopeus varastokentällä puoliperävaunua vetäen

$v(4)$  = Vetomestarin ajonopeus varastokentällä ilman lastia

Kiinteät työvaiheet aluksen ruumassa ja varastokentällä yhteensä 1 minuutti 40 sekuntia.

$$\text{purkausaika} = (pv(n) \times \text{vetomestarin kiinteät työvaiheet} + ((10) / 2) / v(1) + ((10) / 2) / v(2) + ((15) / 2) / v(3) + ((15) / 2) / v(4)) / \text{vetomestareiden määrä alusta purettaessa} \quad (18)$$

#### 4.2.4 Varastokentältä noutojen vaikutus vetomatkan lyhenemiseen

##### 1. Noutojen vaikutus vetomatkojen pituuteen ja vetoaikaan

Puoliperävaunujen noudot vapauttavat ruutuja lähempää aluksen ramppia. Noudot lyhentävät vetomatkojen pituutta varastokentällä ja nopeuttavat aluksen purkausta.

Noutojen määrälle tunnissa on yläraja, joka määräytyy aluksen purkausta varten varattujen rivien ja käytävien lukumäärästä. Yhdellä käytävällä voi samanaikaisesti olla neljä autoa. Noutoja ohjaamalla voidaan vaikuttaa, kuinka nopeasti operaattorin portilta lähetetään uusi auto noutamaan kuormaa käytävältä poistuvan auton tilalle. Mikäli noutojen välillä on viivettä, vetomestarien vetomatkat pitenevät.

Noutojen vaikutus vetomatkoihin ja purkausaikaan voidaan selvittää seuraavasti:



Jos puoliperävaunut noudetaan varastokentältä samaa tahtia kuin puoliperävaunut pudotetaan ruutuihin, vetomestarin pisin vetomatka on veto varastokentän ensimmäiseen ruutuun. Vetomatka (min) varastokentälle on vähintään kaikille noudoille kaavan (16) alkuosa pisteeseen (s) asti.

Jos noutoteho = 0, vetomestareiden vedot varastokentälle pitenevät veto kerrallaan. Vetomatka (max) lasketaan kaavasta (15) tai (16), kun riviä ja ruutuja on varattu sama määrä kuin aluksessa on purettavia puoliperävaunuja.

Jos noutoteho purkauksen aikana on 30 % – 55 % ja noudot ovat tasaisesti jakautuneita koko purkauksen ajaksi kaikkiin ruutuihin, vetomestareiden vetomatkat lyhenevät 30 % siltä osin kuin vedettäisiin kauemmaksi kuin ensimmäiseen ruutuun.

Vetomatka muuttuu noutojen vaikutuksesta ja on:

$$((\text{max} - \text{min}) \times (1 - (0,3 \dots 0,55))) + (\text{min})) / \text{pv} (n) \quad (19)$$

Kaavassa (19) 0,3 ... 0,55 tarkoittaa purkauksen aikana noudettavien puoliperävaunujen osuutta purettavista puoliperävaunuista.

Vetoaika varastokentällä muuttuu vetomatkojen lyhennyttyä ja on:

$$((19) / 2) / v (3) + ((19) / 2) / v(4) \quad (20a)$$

Vetoaika koko purkauksen aikana on nyt kaavasta (18):

$$\begin{aligned} \text{purkaus aika} = & (\text{pv} (n) \times \text{vetomestarin kiinteät työvaiheet} + ((10) \\ & / 2) / v (1) + ((10) / 2) / v (2) + (20a)) / \text{vetomestareiden määrä} \\ & \text{alusta purettaessa} \end{aligned} \quad (20b)$$

Jos noutojen vaikutus vetomatkan lyhenemiseen tahdotaan laskea tarkemmin, vedot on laskettava vuorotellen noutojen kanssa. Jos 30 % vedoista noudetaan, kolme vetoa kymmenestä pudotuksesta noudetaan.

Jos vedot pudotetaan kalanruotoriviin, ruutuja on vierekkäin kaksi ja ruutujen välimatka on 5 metriä, kymmenen pudotuksen aikana vetomatka pitenee  $(10 \text{ pudotusta} - 3 \text{ noutoa}) \times 5 \text{ metriä} / 2 \text{ ruutua vierekkäin} = 17,5 \text{ metriä}$ . Jos vedettäviä puoliperävaunuja on 120 kpl, tarvittavan kalanruotorivin pituus on 210 metriä. Taulukosta 17 alusta lähinnä olevan varastokentän pituus on 180 metriä, joten rivejä on varattava vähintään 3 kpl.

Jos pudotuksia on maksimitehon aikana 30 % keskimääräistä ramppitehoa enemmän ja varastokentälle vedetään 13 vetoa, mutta noudetaan edelleen 3 vetoa, tarvittavan rivin pituus pitenee 230 metriin purkauksen loputtua. Muutos rivin pituuteen on 10 %. Muutos vetomatkan pituuteen on 8 kauimmaista ruutua eli kalanruotorivissä ajettuna vetomatkat pitenevät yhteensä 100 metriä. Ajoaikana muutos on kaavan (20a) mukaisesti vain 33 sekuntia.

Rivien määrän lisäämisellä kahdesta neljään on voimakkaampi vaikutus vetomatkojen lyhenemiseen kuin noutojen määrän lisäämisellä. Rivin pituuden puolittaminen puolittaa riviä pitkin ajettavat vetomatkat. Rivien määrän lisääntyminen vähentää ruuhkaa käytävillä. Satamaoperaattorin portista voidaan päästää kaksinkertainen määrä autoja noutamaan puoliperävaunuja, mikä lyhentää vetomatkoja edelleen.

Rivien määrälle voitaneen löytää optimi, mikäli käytettävissä ovat tarkat tiedot noutojen toteutumisesta purkauksen aikana. Tuloksena voitaneen saada käytävien määrän vaikutukset ruuhkiin, noutojen määrän lisääntymiseen sekä hävikkiin pienenemiseen maksimitehon aikana. Näitä tietoja ei ollut käytettävissä tässä tutkimuksessa. Rivien määrään vaikuttaa myös samanaikaisesti purettavien ja samaa kenttää käyttävien alusten määrä. Esimerkiksi Vuosaarella ovat rinnakkain peräporttipaikat VC1, VC2 ja VF3, joiden läheinen kenttäalue rajoittaa rinnakkaisten rivien lisäämistä.

2. Noutojen maksimimäärä käytävien ja ohjaustavan perusteella

Autojen määrä käytävällä asettaa ylärajan noutojen määrälle tunnissa. Autojen pääsyä varastokentälle ohjataan, jotta käytävät eivät ruuhkaudu. Käytävällä saa olla samanaikaisesti noutamassa neljä autoa.

Jos autojen määrää käytävällä ohjataan portilta, ja rivejä on kaavan (4) ilmoittama määrä, yhdelle alukselle on varattu varastokentältä (4) + 1 käytävää ja autoja voi olla noutamassa  $4 \times ((4) + 1)$  kappaletta. Nouto kestää 8 – 12 minuuttia. Siten noutoja voi olla tunnissa keskimäärin

$$(60 \text{ min/h} / 10 \text{ min}) \times 4 \text{ kpl/käytävä} \times ((4) + 1) \text{ käytävää}$$

Kahden alusta lähinnä olevan kalanruotorivin noudoissa voi olla 72 autoa tunnissa. Mikäli alaramppi puretaan alusta lähinnä olevalle kentälle ja yläramppi ensimmäiselle varakentälle, ja purkaukseen käytetään yksi kalanruotorivi, noutoja voi olla 96 autoa tunnissa.

Ylärampin kuljetusyksiköiden vetäminen ylärampin jälkeen alkavalle varakentälle saattaa pidentää vetomatkaa kolmannen kannen puoliperävaunuille mutta vähentää ruuhkaa toiselta kannelta vedettävillä puoliperävaunuille alusta lähinnä olevalla varastokentällä.

Vierekkäiset rivit voidaan varata kahdelle eri alukselle. Riveillä on yksi yhteinen käytävä. Käytävällä on kahden eri aluksen liikennettä, joten yhden aluksen liikenne yhteisellä käytävällä puolittuu.

Autojen määrää käytävällä voitaisiin ohjata tarkemmalla tasolla. Jos uusi auto saa lähteä portilta samalla hetkellä kun käytävällä oleva auto poistuu kiinniotetun kuorman kanssa, noutoja voi olla tunnissa

$$(60 \text{ min/h} / (3+1) \text{ min}) \times 4 \text{ kpl/käytävä} \times ((4) + 1) \text{ käytävää}$$

Tässä esimerkissä oletetaan, että portilta lähtevä auto noutaa aina aiemmin pudotettuja kuormia. Laskelmasta jää pois tieto ruutuun pudotuksesta 2 minuuttia ja paluu portille 4 minuuttia.

Suurin määrä noutoja toteutuu, mikäli autojen poistumista käytävältä ennakoidaan. Ajamiseen portilta käytävän päähän kuluva aika jätetään pois laskelmista. Noutoja voi olla tunnissa viisinkertainen määrä

verrattuna tilanteeseen, jossa operaattorin portti ohjaa lasteja noutamaan tulleiden autojen pääsyä kentälle. Tässä vaihtoehdossa käytävät todennäköisesti ruuhkautuvat pahoin. Vaihtoehto voitaneen yhdistää vain tilanteisiin, joissa lasteja noutavat autot eivät ole aluksia purkavien vetomestareiden tiellä.

$$(60 \text{ min/h} / 2 \text{ min}) \times 4 \text{ kpl/käytävä} \times ((4) + 1) \text{ käytävää}$$

Taulukkoon 55 lasketut 48 noutoa tunnissa ovat 30 % vedoista, jos tunnissa on 160 vetoa varastokentälle. Kolmelta rampilta purettaessa vetoja on keskimäärin 125 kpl alusten koko purkauksen aikana. Pääkantta purettaessa maksimaaliseksi vetotehoksi on arvioitu 30 % ylitys keskimääräisellä ramppiteholla. Tuloksena on 160 vetoa tunnissa pääkannen purkauksen aikana. Noutoteho voidaan moninkertaistaa käytävien ruuhkaantumatta, mikäli portti lähettää uuden yksikön noutamaan kuormia samanaikaisesti kuin ulos vedettävä kuorma poistuu ruudusta.

Lauantaina ja sunnuntaina puretut kuormat on vedetty purettavia aluksia lähellä oleville varastokentille. Mikäli kaikki kuormat pyritään noutamaan puoleenpäivään mennessä ja mikäli kaikki kuormat noudetaan käyttämällä samoja käytäviä, operaattori päästää portilta kahdelta kaistalta enintään 120 rekkaa tunnissa noutamaan kuormia. Käytävät ruuhkaantuvat, kun käytävillä on samanaikaisesti enemmän kuin neljä rekkaa. Mikäli kuormat olisi vedetty kauempana oleville varastokentille, käytävät eivät ruuhkaantuisi alusten purkamisessa maanantaiaamuna. Kentän allokointi ja vapautuminen eivät kuitenkaan määräydy pelkästään tuonnista, koska lauantaina ja sunnuntaina purkauksen alkaessa kentillä on ollut aluksiin meneviä vientiperävaunuja.

*Taulukko 55 Noudot varastokentältä viikon 2 maanantaina, käytävien määrän ja ohjaustavan vaikutus*

Lasti		Varastokenttä		Noutojen määrä tunnissa ja ohjaustapa		
Alus	Pv kpl	Rivejä  Käytäviä	Käytävillä noutavia autoja yhteensä	Ohjaus portista, ohjausväli 10 minuuttia	Ohjaus ruudusta, ohjausväli 4 minuuttia	Ohjaus käytävälle pääsystä, ohjausväli 2 minuuttia
4216	142	2 x 2  2 tai 3.	8 tai 12	8 x 60 min / 10 min = 48	8 x 60 / 4 = 120	8 x 60 / 2 = 240
4216	162	2 x 2  2 tai 3	8 tai 12	96	240	480
2606	80	1 x 2  1 tai 2	4 tai 8	48	120	240

### 3. Noudon viipeiden vaikutus vetomatkan pitenemiseen

Kuljetusyrityksille on aiemmin ilmoitettu pudotusaika +/- 1 tunnin tarkkuudella. Tällä hetkellä pudotusaika ilmoitetaan +/- 15 minuutin tarkkuudella purkausta edeltävänä päivänä. Pudotusajan tarkentaminen parantaa noutotehoa varastokentältä. Mikäli tarkkuutta pystytään vielä parantamaan, viipeet noudossa pienenevät, noutojen viikonpäivittäinen profiili tarkentuu ja varastokentän käyttöä pystytään suunnittelemaan paremmin. Lisäksi tarvittaisiin tarkempaa tietoa tieverkoston läpäisykyvystä ja häiriöistä. Tarkemman ennusteen hyödyntämismahdollisuuksia rajoittaa maakuljetusreitit (Kehä III,

Lahdentie, Tuusulantie) käyttäytyminen aluksenpurkauksen alussa, jolloin myös tieverkosto on ruuhkautunut. (Rautiainen, 2010)

Varastokentälle noutoon aiheutuu viivettä myös puoliperävaunuja noutamaan tulleen auton ajamisesta portilta varastokentän ruutuun. Viipeen aikana vetomestarit jatkavat puoliperävaunujen vetämistä varastokentän ruutuihin ja vetomatkat pitenevät.

*Taulukko 56 Viive ruudun vapautumisessa seuraavalle pudotukselle*

Vaihe	Viive
Pudotus ruutuun	Tieto välitetään portille ja auto ajaa portin läpi, 2 minuuttia
Siirtyminen ruutuun	Ajamiseen käytettävää aikaa on käytävien ruuhkautumisen takia vaikea arvioida. Aika tuotetaan vähentämällä kokonaisajasta 8 – 12 minuuttia kiinteisiin työvaiheisiin kuluva aika 1 minuutti 10 sekuntia. Ajamiseen jää noin 9 minuuttia, josta puolet tyhjänä, puolet lastia vetäen. Nopeus lastia vetäen putoaa varastokentällä puoleen verrattuna tyhjänä ajamiseen. Siirtymiseen varastokentän ruutuun arvioidaan käytettävän 3 minuuttia ja poistumiseen takaisin operaattorin portille 6 minuuttia.
Seuraava pudotus	Ruutu on tyhjä seuraavaa pudotusta varten, kun edellisestä pudotuksesta on kulunut noin (2 + 3 + 1) minuuttia eli noin 6 minuuttia.

Mikäli viipeet otetaan huomioon, huipputunnin aikana tarvitaan enemmän varastokentän ruutuja. Ruutuja täyttyy purkauksen alkaessa, kun kuljetusyritykset käyttävät aikaa siirtymisessä operaattorin portista varastokentälle

15 minuuttia x vetoteho huipputunnin aikana + 6,67 minuuttia x vetoteho huipputunnin aikana

Ensimmäinen osa kaavasta laskee aika-aviisista myöhäisimpänä ajankohtana noudettujen osuutta. Varastokentälle vedettävien yksiköiden määrä huipputunnin aikana kasvaa, mikäli kaikki noudot toteutuvat ilmoitetun noutoajan ja marginaalin +/-15 minuuttia viimeisellä minuutilla.

Jälkimmäinen osa kaavasta laskee satamaoperaattorin ajoväylillä ajamiseen kuluvaan aikaan. Viive on noin 6 minuuttia 40 sekuntia, joka kuluu operaattorin portilta käytävälle ajamiseen, käytävällä ruudun luokse etenemiseen, puoliperävaunun kiinni ottamiseen, jalkojen ylös veivaamiseen ja ruudusta pois vetämiseen.

#### **4.3 Laivausehdot, perävaunuehto (engl. trailer term)**

Perävaunuehdon kohteena on yleensä puoliperävaunu, joskus myös täysperävaunu tai muu omilla pyörillään kulkeva yksikkö. Lastinantaja tuo perävaunun sovitun ajan puitteissa ajoneuvolla lastaussatamaan lastaus alueelle. Rahdinkuljettaja tarkastaa saapuvan yksikön lastaussataman portilla tai lastausalueella.

Rahdinkuljettaja ohjaa perävaunun tai muun vastaavan omilla pyörillään kulkevan yksikön osoittamaansa paikkaan, minkä jälkeen se on hänen vastuullaan. Lastinantaja vastaa seisontakustannuksista, kunnes rahdinkuljettaja siirtää perävaunun alukseen.

Perävaunu on rahdinkuljettajan vastuulla, kunnes vastaanottaja sen noutaa. Vastaanottaja vastaa seisontakustannuksista.

Rahdinkuljettaja saattaa tarkastaa yksikön määräsatamassa ennen sen poistumista satama-alueelta.

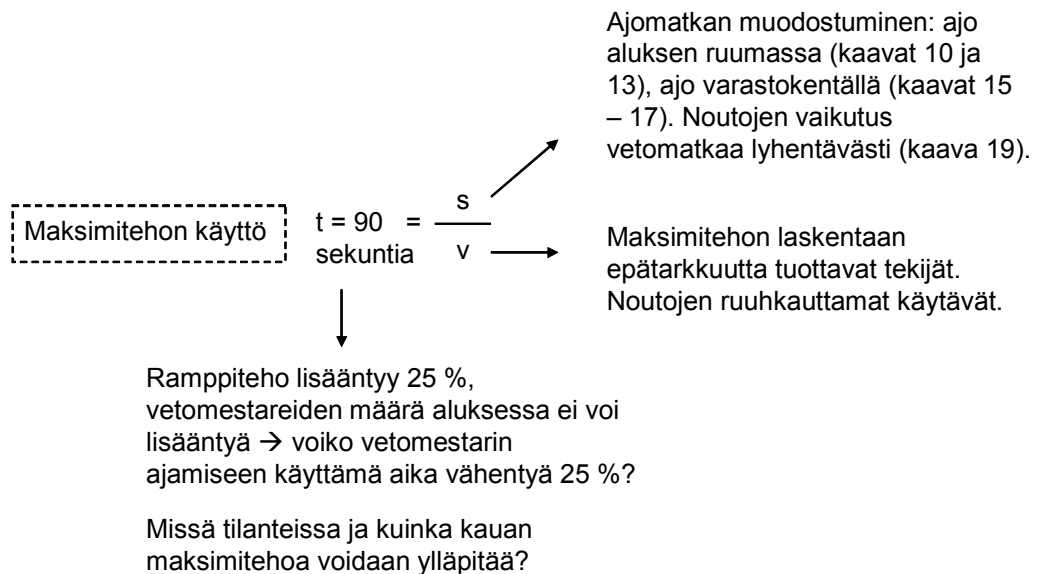
## 4.4 Maksimitehon käyttö

### 4.4.1 Maksimitehon käsite

Maksimitehoa voidaan käyttää sataman kapasiteettijoustavuuden laskelmissa korvaamaan keskimääräisiä, aluksen koko purkauksen ajalta laskettuja tietoja. Maksimitehon laskenta edellyttää vetomestarin vetomatkojen, prosessin nopeuden ja saavutettavan tehostumisen tarkkaa laskentaa.

Kaikki tarvittavat laskelmat on tuotettu empiirisesti tässä tutkimuksessa.

Rajoitteet



*Kuva 49 Maksimitehon muodostumisen osatekijöitä*

Ramppitehon, vetotehon ja maksimitehon käsitteiden eroja on kuvattu taulukossa 57.

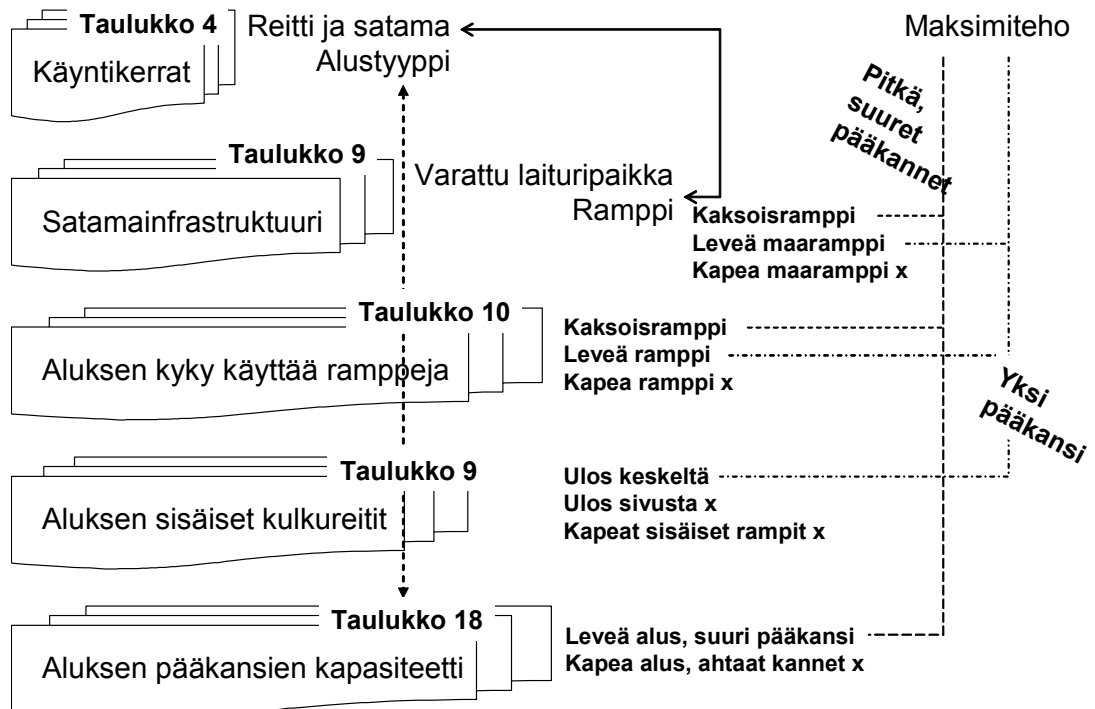
*Taulukko 57 Aluksen purkauksen tehokkuuteen käytetyt mittarit*

Mitattu teho	Mittauksen pituus	Perustelu
Ramppi-	Aluksen	Mitattu teho 50 vetoa tunnissa kaksoisrampilta



Mitattu teho	Mittauksen pituus	Perustelu
teho	purkaus	tai 25 vetoa tunnissa maarampilta.
Veto-teho	Aluksen purkaus	Mitattu teho yhdelle vetomestarille, esimerkiksi 5,7 vetoa tunnissa (Finnsteve 2010d)
Maksimi-teho	Pää-kannen purkaus	Puoliperävaunujen purkamisen teho pääkansilta. Ei sisällä siirtymistä aluksen sisäisiä ramppoja pitkin. Lyhyet vetomatkat, hävikki 8 - 16 % laskennallisesta tehosta.

Maksimitehoa ei ole järkevää laskea aluksille, joilla tiedetään jo valmiiksi olevan alhainen ramppiteho. Kykyyn savuttaa maksimiteho vaikuttaa aluksen, satamainfrastruktuurin ja satamaoperaattorin koneiden ja laitteiden tekninen yhteensopivuus.



x Pienin teho, ahtaat tilat, 1 – 6 vetomestaria mahtuu työskentelemään

Kuva 50 Maksimitehon saavuttaminen eri alustyypeillä

#### 4.4.2 Maksimitehon vaihteluvälin laskeminen

Maksimitehon aikana ramppi ylitetään alle kahden minuutin välein. Maksimitehon käyttö edellyttää, että kapasiteetin ei tarvitse joustaa aluksen purkauksen aikana tyypillisesti esiintyvien häiriöiden selvittelyyn. Mikäli häiriöitä syntyy, vetomestarit lopettavat maksimitehon käytön ja ylimääräistä kapasiteettia ohjataan pullonkaulojen syntymisen estämiseen.

Tässä tutkimuksessa käytetään huipputunnin mallintamiseen seuraavia ramppitehoja. Kaksoisrampin yläramppi ylitetään 2 minuutin välein kannen 3 purkauksen puoleenväliin asti. Alaramppi ylitetään 90 sekunnin välein pääkannen 2 purkauksen puoliväliin asti. Kaksoisrampin ylärampilla on siis ramppiteho 30 ja alarampilla 40 eli yhteensä 70 kummankin kannen purkauksen puoleenväliin asti. Tämän jälkeen vetomatkat aluksen sisällä ja varastokentällä ovat pidentyneet ja ramppiteho putoaa aluksen kannen 3 takimmaiselle osalle ylärampilta 25 vetoon tunnissa ja kannelle 2 takimmaiseen osaan 30 vetoon tunnissa.

Huipputunnin tehoa pystytään ylläpitämään koko aluksen purkauksen ajan, mikäli lastit siirretään pääkannen perältä ja aluksen muilta kansilta lähelle peräramppia. Osa vetomestareista pysyy aluksen sisällä ja osa vetomestareista vetää lasteja varastokentälle.

Kansien 1 ja 4 purkaukseen liittyy ajaminen aluksen sisäistä ramppia pitkin. Kansien 1 ja 4 purkaminen ei toteudu maksimiteholla. Kansilta 1 ja 4 vedetyt puoliperävaunut ylittävät rampin todennäköisesti harvemmin kuin 2 minuutin välein. Koko aluksen purkauksen mittauksessa ramppiteho 50 vetoa tunnissa on saavutettu keskiarvo.

Edellä esitetyt ramppitehot perustuvat tarkistuslaskelmiin, jotka käyttävät vetomestarille mittausten mukaan ilmoitettua vetotehoa aluksen koko purkauksen ajalta. Tarkistuslaskelmat on esitetty alla.

Vetomestarin keskimääräinen vetoteho = 5,7 vetoa / tunti

Vetomestarin yhteen vetoon keskimäärin käyttämä aika

$$= 60 \text{ min/h} / 5,7 \text{ vetoa/h} = 10 \text{ minuuttia ja 30 sekuntia/veto}$$

Osa vetomestarin työvaiheista toistuu vakiopituisina aluksen purkauksen ajan. Kiinteät työvaiheet ovat yhteensä 1 minuutti 40 sekuntia.

Vetomestarin ajamiseen keskimäärin jäävä aika = 10 minuuttia 30 sekuntia - 1 minuutti 40 sekuntia = 8 minuuttia ja 50 sekuntia.

Maksimitehon ja ramppitehon välisiä eroja testattiin taulukon 54 esimerkin mukaisesti taulukossa 58. Testattu alus oli kokoluokasta 4216 kaistametriä ja tehtävänä oli pääkannen 2 tyhjentäminen 63 puoliperävaunusta. Varastokentältä varattiin yksi kalanruotorivi, jota täytettiin rampilta poispäin. Kannella 2 oli neljä vetomestaria. Kolme vetomestaria veti puoliperävaunuja ja neljäs muita kannella kaksi olevia yksiköitä kuten lauttavaunuja. Kaksoisrampissa purettavilla aluksilla on yleensä mukana jonkin verran kuorma-autoja. Siten yleensä ei toteudu taulukon 58 lyhyimmän vetomatkan mukaista tilannetta, jossa puoliperävaunuja vedetään välittömästi perärampin takaa kannelta 2.

*Taulukko 58 Ajomatkat kokoluokan 4216 kaistametriä aluksen pääkannella työskenneltäessä, noutoja ja ruuhkaa ei huomioitu*

Prosessi	Lyhyin matka metriä	Pisin matka metriä	Lyhyin aika sekuntia	Pisin aika sekuntia
2.4.1 Ajo ruumaan	20	197,5 – 14,7	9	82
2.4.3 Pois ruumasta	20	197,5 – 14,7	18	184
2.5 Ajo varasto-kentälle	20	200	18	51
2.7 Pois varasto-kentältä	20	200	9	26
Yhteensä	80	766	54	343
Sisältää 10 % hävikkiä				381
Käyttöaste, vetoteho				72 %

Lyhyin mahdollinen yhden vetomestarin käyttämä aika aluksen purkauksen alkaessa on ajamiseen 54 sekuntia + kiinteisiin työvaiheisiin 1 minuutti 40 sekuntia eli 2 minuuttia 34 sekuntia. Kun aluksen pääkannelta vedetään neljänneltä riviltä, varastokentälle on jo vedetty kolmelta riviltä 24 puoliperävaunua, joista on noudettu 30 % eli 7 kappaletta. Vetomatka yhdessä kalanruotorivissä on lisääntynyt  $(24 - 7)$  ruutua  $\times$  5 metriä / 2 ruutua/rivi = 42,5 metriä. Ajamiseen kuluva aika varastokentällä on lisääntynyt 29 sekuntia. Neljänneltä riviltä vedettäessä vetomestari käyttää ajamiseen 129 sekuntia ja kiinteisiin työvaiheisiin 1 minuutti 40 sekuntia. Hävikki on 16 % joten vetoon kuluu 272 sekuntia eli 4 minuuttia 32 sekuntia. Kolmella vetomestarilla pääkannen purkamisen vetämällä puoliperävaunu 90 sekunnin välein rampin yli on mahdollista aluksen pääkannen ensimmäisten rivien purkamisen osalta. Tällöin ramppi ylitetään 45 sekunnin välein joko tyhjänä ajettaessa sisään alukseen tai täytenä vedettäessä varastokentälle.

Jos ajamiseen käytetty aika 8 minuuttia 50 sekuntia lyhenisi 25 %, ja hävikki on 16 %, ajamiseen jää 5 minuuttia 34 sekuntia. Mikäli vetomestari ei pidä lainkaan taukoa, vetomestari käyttää ajamiseen kaiken käytettävissä olevan ajan vedettäessä aluksen riviltä, joka saadaan ratkaisemalla yhtälö:

$$\begin{aligned} &(((7) \text{ metriä} + \text{rivi } (x) \times (12) \text{ metriä}) / 1000 \text{ m/km}) \times 3600 \text{ sekuntia/h} / 8 \\ &\text{km/h} + (((7) \text{ metriä} + \text{rivi } (x) \times (12) \text{ metriä}) / 1000 \text{ m/km}) \times 3600 \\ &\text{sekuntia/h} / 4 \text{ km/h} + (((s) + (\text{rivi } (x) \times 8 \times 0,7) \times 5 / 2) / 1000 \text{ m/km}) \times \\ &3600 \text{ sekuntia/h} / 8 \text{ km/h} + (((s) + (\text{rivi } (x) \times 8 \times 0,7) \times 5 / 2) / 1000 \text{ m/km}) \\ &\times 3600 \text{ sekuntia/h} / 16 \text{ km/h} = 5 \text{ minuuttia } 34 \text{ sekuntia} \end{aligned}$$

Yhtälössä neljä ensimmäistä osaa ovat järjestyksessä ajoaika aluksen sisällä ilman lastia + lastin kanssa + ajoaika varastokentällä lastin kanssa + ilman lastia = ajamiseen käytettävissä oleva 25 % lyhentynyt aika.

Jos pääkannen lastina on pelkkiä puoliperävaunuja, (7) = rampin ylitys 20 metriä, (12) = puoliperävaunun pituus sidottuna 14,7 metriä, (s) on lyhyin matka varastokentälle 20 metriä, noutoja oletetaan olevan 30 % ja

puoliperävaunut vedetään yhteen kalanruotoriviin, jossa ruudun vaihtuminen pidentää matkaa aina 5 metriä.

Kokoluokan 4216 kaistametriä alus on 218,8 metriä pitkä. Yhden puoliperävaunurivin pituus on sidottuna 14,7 metriä, joten kannella on rivejä korkeintaan 14 kpl. Vedettäessä riviltä 9 käytetään vähintään 5 minuuttia 7 sekuntia yhden vedon ajomatkoihin.

Riviä 9 vedettäessä aluksen purkaus on kestänyt  $9 \text{ riviä} \times 8 \text{ puoliperävaunua} / \text{rivi} \times 90 \text{ sekuntia} / \text{puoliperävaunu} \times 60 \text{ sekuntia/minuutti} = 108 \text{ minuuttia}$  eli lähes 2 tuntia, kun pääkannella 2 ei ollut yhtään ulos ajaneita kuorma-autoja. Hyvin todennäköisesti vetomestarit eivät pysty vetämään lasteja ulos pääkannelta 90 sekunnin välein kahden tunnin ajan, kun vetoihin on laskettu mukaan vain 16 % hävikki senkin jälkeen, kun ajamiseen varattu aika on lyhentynyt 25 %.

#### 4.4.3 Maksimitehon ylläpitäminen

Jos pääkannen purkauksen alussa maksimiteho on 70 vetoa tunnissa, varastokenttä voi täytyä kahdelta kokoluokan 4216 kaistametriä alukselta 140 vetoa tunnissa. Kun samanaikaisesti puretaan yhtä kokoluokan 2606 kaistametriä alusta 30 vedon tuntivauhdilla, varastokenttä voi täytyä 170 vedon tuntivauhdilla.

Maksimitehon ylläpitämisellä on suuri vaikutus alusten purkausnopeuteen purettaessa pääkansia. Rampin rakenne rajoittaa maksimitehoa ja purkauksen alussa ramppi aiheuttaa hävikkiä, kun vetomestareiden vetomatkat ovat lyhyitä sekä aluksen sisällä että varastokentällä. Kun vetomatkat tasoittuvat, noudot ovat käynnistyneet ja käytävät alkavat ruuhkautua viikon vilkkaimpina päivinä. Ruuhkautumisesta aiheutuva hävikki lisääntyy merkittävästi. Molemmat yhdessä heikentävät huipputehoa.

Satamaoperaattorin mittausten mukaan alusten saapumisella kahden tunnin välein ja purkauksen porrastamisella on suuri vaikutus alusten

purkauksen nopeutumiseen. Oletuksena on, että pääosa lastista saapuu tällöin kuorma-autoilla.

Kun alusten purkausta ei porrasteta, jokaisen aluksen pääkansia puretaan samanaikaisesti maksimiteholla. Alusta lähinnä olevat rivit jakavat yhteisiä käytäviä, joten ruuhkautumisen estämiseksi varastokentältä noutoja on hidastettava yhteisen käytävän kummallakin puolella olevien rivien osalta.

Erilaiset ongelmat maksimitehon käytön aikana voivat viivästyttää aluksen purkausta, jos ongelmat vaikuttavat nopeasti vetomestareiden kapasiteetin käyttöön. Vetomestareiden kokonaismäärä alusta purettaessa on mitoitettava riittävän suureksi, jotta vetomestareiden kapasiteetissa säilyy joustavuus. Aluksen lastina tulleissa puoliperävaunuissa voi ilmetä teknisiä ongelmia, joiden selvittäminen pysäyttää purkauksen. Kun maarampin tasolla olevaa pääkantta tyhjennetään ja vedetään kannen perältä varastokentän päähän, vetomestarin yhteen vetoon keskimäärin varatusta ajasta (10 minuuttia 30 sekuntia) käytetään yli 70 % ajettaessa keskimääräisellä ajonopeudella. Vetomestareiden ajamiseen käytetty työaika muuttuu, kun ajonopeus muuttuu käytävien ruuhkaannuttua. Tällöin käyttöasteet nousevat nopeasti.

#### 4.4.4 Maksimitehon laskemiseen epätarkkuutta lisääviä tekijöitä

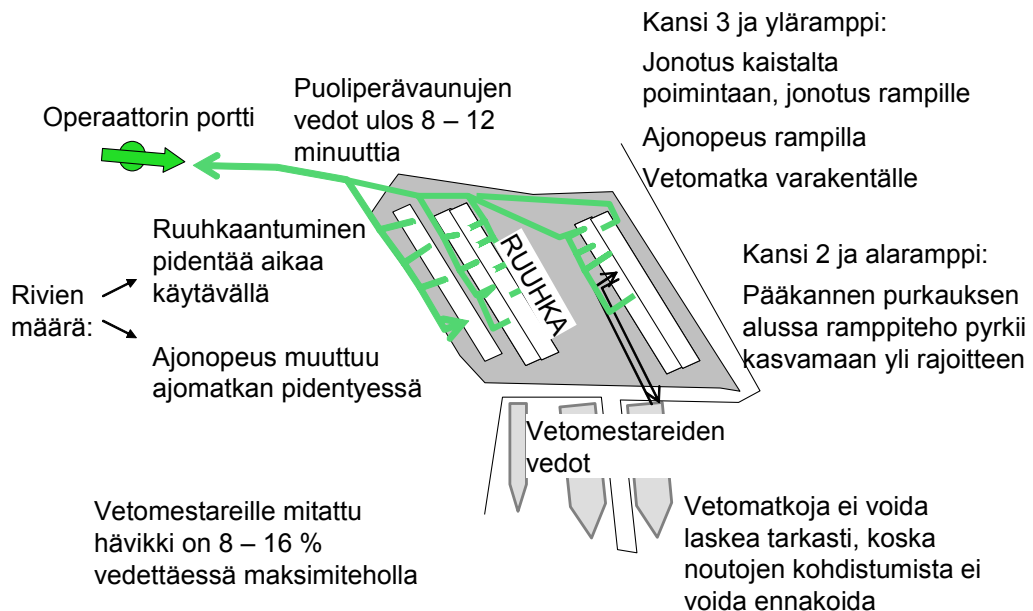
Varastokentälle vetoon käytettyä matkaa ja aikaa ei voi laskea tarkasti. Laskenta sisältää useita epätarkkuuksia. Tekijät liittyvät osittain toisiinsa ja niiden mallintaminen saattaa olla ongelmallista.

Vetomatkojen pituuksia ei tiedetä tarkasti. Noudoista 30 % toteutuu ilmoitetulla vedon valmistumishetkellä ja 55 % koko purkauksen aikana. Varastokentän käyttö voitaisiin suunnitella siten, että noudettaessa aikaikkunasta myöhästynyttä osaa, vetomestarit ja noutavat autot eivät ole toistensa tiellä ja hidasta purkamista.

Autoa ei ehditä kiihdyttää keskimääräiseen ajonopeuteen vedettäessä lyhyillä vetomatkoilla, joten lyhyet vetomatkat ajetaan samalla nopeudella kuin aluksen sisällä. Käytetystä ajonopeudesta eri vetomatkoilla ei ole mittauksia.

Paluumatka kansille 3 ja 4 ajetaan kapeaa kaksoisrampin yläramppia pitkin, vetomestarit joutuvat hidastamaan rampilla ajonopeudeksi 8 km/h ja jonottamaan rampille pääsyä. Kantta 3 puretaan kaista kerrallaan ja vetomestarit ottavat lastin kiinni vuorotellen vierekkäisiä kaistoja purkaen. Kannen 3 ja yläramppin aiheuttamaa viivettä ei ole erikseen mitattu. Ylemmän pääkannen vetoihin lisätään odottamista kulkuväylän vapautumisesta 45 sekuntia, ajo yläramppia pitkin kentälle ja paluu 135 sekuntia, yhteensä 180 sekuntia. Ylemmällä pääkannella on kuusi vetomestaria, mikä tasoittaa eroa alempaan pääkanteen.

Kaksoisrampin alarampilta vedetään varastokentän rampin puoleiseen päähän ja vetomatka on lyhyt. Jos ylärampilta vedetään varastokentän vastakkaiseen päähän tai ensimmäiselle varakentälle, vetomatka on pidempi.



Kuva 51 Laskentaan epätarkkuuksia aiheuttavia tekijöitä

Mikäli käytävällä on ruuhkaa, liikennöinti käytävillä hidastuu. Varastokentän yhdellä käytävällä voi samanaikaisesti olla kaksi vetomestaria. Vetomestarin käytävällä oloaika ei saa lähestyä ramppiaikaa, jotta käytävät eivät ruuhkaudu. Jos aluksen purkaukseen on varattu vain muutamia pitkiä rivejä, käytävien vähäisyys rajoittaa vetomestareiden työtä ja ruuhkauttaa noudot.

Aluksen purkaukseen varattujen rivien pituudella, lukumäärällä ja muodolla voi olla suuri vaikutus pääkansien purkausnopeuteen. Kun rivejä on paljon, rivit ovat lyhyitä ja rivit on varattu läheltä alusta, vetomestari vetää lyhyempiä matkoja. Jos rivejä on vähän, rivit ovat pitkiä ja lähellä alusta, käytäviä on vähemmän ja pisimpiä vetomatkoja on suhteessa enemmän. Varastokentän lohkominen helpottaa rivien kohdistamista alarampin ja ylärampin purkaukseen. Mikäli ylärampille tai kannen 3 vedoissa muodostuu jonoja, jonotusaika voidaan käyttää vetoon varakentille ja vapauttaa alusta lähinnä oleva varastokenttä kokonaan pääkannen purkamiseen maarampin kautta.

#### 4.4.5 Esimerkki täyteen lastatun aluksen purkamisesta maksimiteholla

Taulukon 54 esimerkissä alusten purkaus kello 11.00 mennessä ei muodostu pullonkaulaksi. Mikäli 4216 kaistametrin alus täytetään lastauskertoimella 95 % kokonaan täyteen puoliperävaunuja, aluksen purkaminen kestää keskimääräisellä ramppinopeudella 272 puoliperävaunusta kello 12.45 asti, kun purkaminen aloitetaan kello 7.00.

Purkausaika muuttuu laskettaessa maksimiteholla. Taulukon 54 perusteella pääkannella 2 on puoliperävaunuja  $(272/2) \times 3 / 4 = 102$  kpl. Kannella 2 on taulukon 54 mukaisesti kaistoja 8 kpl, joten ulos vedettäviä rivejä on  $102 / 8 = 13$  kpl. Pääkansi 2 voidaan purkaa puoleenväliin asti ramppiteholla 40, jonka jälkeen pääkannen ramppiteho on 30. Pääkannen purkaus kestää 3 tuntia. Kannella 1 on taulukon 54 perusteella 34 puoliperävaunua, joiden ulos veto on voinut käynnistyä kannen 2 tyhjennyttyä riittävästi. Mikäli kannen 1 tyhjennys käynnistyy samanaikaisesti kuin kannen 2 ramppiteho putoaa lukuun 30, kannen 1



ja 2 yhteinen ramppiteho voi nousta lukuun 40. Tällöin kannen 1 osuus ramppitehosta on kolmen tunnin ajan 11 vetoa tunnissa. Kannella 1 työskentelee normaalisti taulukon 52 mukaisesti 3 vetomestaria, joiden vetoteho on yhteensä keskimäärin  $3 \times 5,7 = 17$  vetoa tunnissa. Kansien 1 ja 2 purkaus kello 11.00 mennessä voi toteutua, mikäli maksimitehon käytön aikana tyypilliset pullonkaulat eivät hidasta vetomestareiden vetoja. Kannella 3 on taulukon 52 mukaisesti 6 vetomestaria, jotka jakautuvat kannen 3 tyhjennettyä kansille 1 ja 4. Kannella 3 on 50 % enemmän vetomestareita kuin kannella 2, mutta kansilla 3 -4 on myös 30 % enemmän kaistametrejä kuin kansilla 1 - 4.

Todennäköisesti edellisessä esimerkissä pääkannet tyhjenetään puoleenväliin asti ramppiteholla 40, jonka jälkeen alukseen lisätään vetomestareita. Vetomestarit siirtävät lasteja pääkannelle perärampin taakse. Osa vetomestareista vetää näitä lasteja varastokentälle. Näin ramppiteho saadaan varmemmin pysymään maksimaalisena aluksen koko purkauksen ajan.

Kuorma-autot ja puoliperävaunut ovat nopeita purkaa. Aluksen lastina on normaalisti myös muita taulukon 11 mukaisia lastilajeja. Näiden purkaus on hitaampaa. Muiden lastilajien merkittävä osuus hidastaa aluksen purkausta. Aluksen purkaus ei valmistu kello 11.00 mennessä.

#### 4.4.6 Esimerkki satamaoperaattorin kapasiteettitarpeista

Satamaoperaattori voi purkaa kahdelta kaksoisrampilta kaksi 4216 kaistametrin alusta, jotka on lastattu lastauskertoimella 95 % täyteen puoliperävaunuja. Purkaus alkaa kello 7.00 ja päättyy kello 11.00. Pääkannen purkaus ramppiteholla 40 purkaa 51 puoliperävaunua. Tämän jälkeen pääkannelta puretaan ramppiteholla 30 loput 51 puoliperävaunua. Samanaikaisesti pääkannen loppupuoliskon kanssa käynnistyy kannen 1 purkaus, josta puretaan 34 puoliperävaunua. Kannen 2 ja 1 yhteinen ramppiteho ei ylitä 40. Lisäksi satamaoperaattori purkaa 2606 kaistametrin alukselta 80 puoliperävaunua ramppiteholla 25.

Maksimitehon käyttöön aiheuttavat epävarmuutta varastokentän rivien määrä, vetomatkojen pituudet täytettäessä varastokenttää maksimiteholla ja ruuhkat käytävillä. Varastokenttää täytetään kello 7.00 – 11.00 välisenä aikana kahdelta kaksoisrampilta 70 vedon tuntivauhdilla. Kaksoisramppien varastokentät ovat ramppien molemmiin puolin. Jos varastokentälle pudotetaan puoliperävaunuja 25 % nopeammin, rivejä tulee olla varattuna enemmän, jotta käytävät eivät ruuhkaudu. Käytävällä saa olla samaan aikaan kaksi vetomestaria. Ramppiteho on 90 sekuntia myös käytävällä. Jalkojen veivaukseen alas kuluu 30 sekuntia, joten vetomestari voi ajaa varastokentällä korkeintaan 60 sekuntia ruutuun. Siten lasti on pudotettu 90 sekunnin sisällä ja vetomestari on poistumassa käytävältä, kun uusi vetomestari saapuu. Jos käytäviä on yksi, vetomestari voi vetää lastin korkeintaan  $8 \text{ km/h} \times 1000 \text{ m/km} \times 60 \text{ sekuntia} / 3600 \text{ sekuntia/h} = 133 \text{ metriä}$ . Alusta lähinnä olevan varastokentän pituus on 200 metriä. Kahdelle riville vedettäessä vetomestari voi käyttää ruutuun siirtymiseen  $60 + 90 \text{ sekuntia}$ , mikä riittää 333 metrin ajamiseen vetonopeudella  $8 \text{ km/h}$ .

Varastokentältä varataan kaavan (3) mukaisesti noin 190 ruutua, kun 30 % pudotuksista noudetaan ilmoitettuna aikana. Kaavan (4) mukaisesti rivejä varataan kolme kalanruotoriviä tai kaksi kalanruotoriviä ja yksi läpiajettava. Käytäviä on kolme, samanaikaisesti kentällä voi olla kuusi vetomestaria. Vetomatkat ovat alle 200 metriä yhteen suuntaan.

Käytävien ruuhkautuminen voidaan välttää purkamalla alusten lastit operaattorin portilta aluksen rampille päin, mikäli alukset ovat täyteen lastattuja. Tällöin vetomestarit ja kuljetusliikkeiden puoliperävaunuja noutavat autot eivät kohtaa samoilla käytävillä.

#### 4.4.7 Ramppien tekniset rajoitteet maksimitehon saavuttamisessa

Maksimitehoa rajoittaa kaksoisramppin tekninen rakenne. Kaksoisramppin yläramppi on noin 105 m pitkä ja rampilla liikennöidään vain yhdellä kaistalla. Pituus on mitattu liitteestä Vuosaaren satama 1.1.2010 (Helsingin satama, 2010c) ja leveys on tarkistettu kuvasta 8. Jos

ylärampilla ajetaan samalla keskinopeudella kuin varastokentällä, rampin ylitys ilman lastia kestää 24 sekuntia ja puoliperävaunua vetäen 47 sekuntia. Jos ylärampilla ajetaan samalla keskinopeudella kuin aluksen sisällä, rampin ylitys ilman lastia kestää 47 sekuntia ja puoliperävaunua vetäen 95 sekuntia. Rampin yli kulkee vetomestari varastokentälle päin vähintään 2 minuutin 22 sekunnin välein ja enintään 1 minuutin 11 sekunnin välein. Keskiaro on 1 minuutti 44 sekuntia. Todennäköisesti ylärampin tekninen rakenne rajoittaa ramppinopeuden keskimääräiseen 25 vetoon tunnissa maksiminopeuden ollessa 30 vetoa tunnissa.

Kaksoisrampin alaramppi on 20 metriä pitkä ja 29 metriä leveä (Helsingin satama, 2010c). Rampilla voidaan liikennöidä kahdella kaistalla. Ramppi ylitetään 2 minuutin välein, kun ramppinopeus on keskimääräinen. Tällöin maarampin yli kulkee 1 minuutin välein vetomestari sisään alukseen tyhjänä tai ulos aluksesta puoliperävaunua vetäen. Vetomestareiden määrä aluksen kansilla ja ajamiseen kuluva aika on mitoitettu tälle ramppinopeudelle. Vetomestareiden määrää aluksen kansilla ei voi kasvattaa, koska vetomestarit eivät mahdu työskentelemään.

Jos vetomestari vetäisi puoliperävaunun rampin yli 90 sekunnin välein, ramppi ylitettäisiin 25 % nopeammin. Tällöin yksi vetomestari käyttäisi ajamiseen 25 % vähemmän aikaa. Ramppiteho olisi tällöin 40 vetoa tunnissa.

Jos ylärampin ramppiteho voisi huipputunnin aikana nousta 30 vetoon tunnissa ja alarampin 40 vetoon tunnissa, huipputunnin ramppiteho olisi 70 vetoa tunnissa. Tällöin huipputunnin maksimiteho olisi 40 % korkeampi kuin keskimääräinen koko aluksen purkauksen ajalta mitattu ramppiteho.

Huipputunnin aikana toteutuvien vetojen tehokkuus on mitattu sisältävän 8-16 % hävikkiä. Vetoja on mitattu huipputunnin aikana olevan keskimäärin 84 - 92 % maksimitehosta. (Takanen, 2010) Todellinen huipputunnin ramppiteho olisi tällöin 59 vetoa tunnissa.

#### 4.4.8 Esimerkki varastokentän käytöstä noutojen tehostamisessa

Satamaoperaattorille voidaan laskea noutojen vaikutus varastokentän käyttöön. Satamaoperaattorin ongelmana on tunnistaa noudot, jotka purkauksen jälkeen poistuvat nopeasti varastokentältä. Satamaoperaattori on selvittänyt eri viikonpäivien noudoille tyypillisen profiilin. Satamaoperaattori on lisäksi pystynyt tarkentamaan arviota ulos vetämisen ajankohdasta. Kun aiemmin kuormien ulosveto ilmoitettiin tunnin tarkkuudella, niin nykyinen käytäntö on neljännestunnin tarkkuudella. Jos tarkkuutta pystytään kasvattamaan edelleen, pudotuksia varastokentälle voidaan suunnitella noutojen ja vetomestareiden vetomatkojen lyhenemisen kannalta.

Satamaoperaattori voi pyytää kuljetusyritykseltä vastauksen aika-avisointiin. Nopeasti kiertävät lastit voidaan tunnistaa ennalta ja vedot voidaan suunnitella lähellä alusta oleville varastopaikoille. Mikäli kaikki aika-avisoinnin sisällä noudettavat puoliperävaunut noudetaan läheltä rampeja, vaikutus vetomestareiden vetomatkoihin on huomattava.

Jos 4216 kaistametrin alus on lastattu täyteen puoliperävaunuja, aluksessa on yhteensä 270 puoliperävaunua. Aika-avisoinnin sisällä noudettavat 30 % jakautuvat purkauksen tunneille, jotka voidaan selvittää etukäteen kuljetusyritysten vastauksista. Jos 30 % ilmoittaa noutavansa esitettynä ajankohtana, niin 81 puoliperävaunua noudetaan esimerkiksi kolmen ensimmäisen purkaustunnin aikana. Siten tunnissa noudetaan noin 27 purettua puoliperävaunua. Näille puoliperävaunuille varataan kahdesta kalanruotorivistä kolmesta ensimmäisestä ruodusta jokaisesta 9 ruutua. Seuraavaksi selvitetään purkauksen aikana noudettavat, joita on yhteensä 25 % edellisten lisäksi. Puoliperävaunuja on 68 kpl ja ne arvioidaan noudettavan kahdessa erässä, puolet purkauksen alkupuolella ja puolet loppupuolella. Puoliperävaunuille varataan neljännestä ruodusta 9 ruutua ja kaikista neljästä ruodusta kuusi ruutua nopeasti kiertävien ruutujen yläpuolelta. Jäljelle jää 121 puoliperävaunua. Osa vedetään nopeasti kiertävien puoliperävaunujen paikoille sen jälkeen, kun paikat on käytetty nopeisiin vetoihin 2 – 3 kertaa. Lopuille

varataan alusta lähinnä olevista neljästä ruodusta jokaisesta ruodusta ruodun päässä vielä vapaana olevat 16 paikkaa. Nämä yhteensä 64 paikkaa täytetään ensin puoliperävaunuista, joita ei ole ilmoitettu haettavaksi purkauksen aikana.

Varastokentän ruutujen ja rivien jakaminen nopeasti ja hitaasti kiertäviin paikkoihin ja puoliperävaunujen vetäminen joko nopeasti tai hitaasti noudettaville lasteille osoitettuihin paikkoihin edellyttää työnjohdolta ohjausta. Tarvittava ruutumäärä on 124 ruutua, joka on kaavan (4) mukaan kaksi kalanruotoriviä alusta lähinnä olevalta varastokentältä. Ruutujen kokonaismäärä = aluksen purkauksen jälkeen satamaan iltapäivällä ja illalla noudettaviksi jääneet 45 % aluksen purkauksesta. Kolmella käytävällä voi olla samanaikaisesti purkamassa enintään kuusi vetomestaria ja noutamassa enintään kaksitoista rekkaa. Toimintatavasta saattaa aiheutua vetomestareille ylimääräistä ajoa, mikäli nopeasti kiertävälle puoliperävaunulle joudutaan etsimään paikkaa nopeasti kiertäviltä paikoilta. Pudotukset tulisi voida ohjata neljälle käytävälle tasaisesti, jotta nopeasti noudettavat eivät ruuhkauttaisi osaa käytävistä.

Jos purkaus jaotellaan nopeasti ja hitaasti noudettaviin, nopeasti noudettavat on pudotettava nopeasti kiertäviin ruutuihin. Vaihtoehtona on pudotuksiin varattujen ruutujen täyttäminen operaattorin portilta alukselle päin. Nopeasti noudettavat pudotetaan nopeasti kiertävien ruutujen operaattorin puoleiseen päähän. Ruodut täytetään kohti ramppia, joten varastokenttien käytäville syntyvät ruuhkat voidaan välttää alusten pääkansien purkauksen alussa. Muutos ei vaikuta vetomestareiden vetomatkojen pituuteen, koska nopeasti kiertävät paikat on suunniteltu täyttymään 3 – 4 kertaa aluksen purkauksen aikana.

#### 4.4.9 Esimerkki maksimitohon vaikutuksesta varastokentän kokoon

Mikäli vetomestareiden vedot varastokentälle ovat nopeampia kuin keskimääräinen ramppiteho ja kuljetusyritysten noudot varastokentältä toteutuvat hitaammin kuin keskimääräinen ramppiteho, varastokenttä muodostuu pullonkaulaksi. Varastokentän ylärajan saavuttamista ja

varastokentän muodostumista pullonkaulaksi on kuvattu tässä esimerkissä. Esimerkissä on laskettu aluksi purettaessa keskimääräisellä ramppinopeudella ilman noutojen vaikutusta ja noutojen vaikutus on arvioitu lopuksi. Kuitenkin, mikäli maksimitehon aikana vedetään varastokentälle 65 vedon ramppiteholla ja varastokentältä nouto toteutuu mitatun keskimääräisen noutotehon mukaisesti, päädytään esimerkin kuvaamaan lopputilanteeseen.

Vuosaaren sataman purkaus käynnistyy maanantaiaamuna. Varastokentille on jäänyt noutamatta kuormaa perjantaina puretuista lasteista. Laivoista puretaan puoliperävaunuja varastokentille lauantaina, sunnuntaina ja maanantaina.

Kuljetusliikkeet noutavat puretut puoliperävaunut pääosin maanantaina. Varastokentiltä noutoja ei voi täsmällisesti ennakoida ja tämä aiheuttaa epävarmuutta kapasiteettitarpeiden laskentaan. (Takanen, 2010)

Tutkitun satamaoperaattorin varastokentän koko on 1080 puoliperävaunupaikkaa. Varastokentältä on käytetty 614 ruutua taulukon 59 kuvaamassa lähtötilanteessa. Kentälle vedetään 510 yksikköä, joten kentän kaikille ruuduille on käyttöä. Tässä esimerkissä oletetaan, että lauantain ja sunnuntain kuormat on vedetty taulukon 17 varakentille, joten maanantain kuormat vedetään alusta lähinnä oleville ruuduille. Laskentaesimerkin purettavat yksiköt on otettu taulukosta 12. Viikon 1 lauantaina ja sunnuntaina puretut kuormat on laskettu varastokentillä yhteen. Viikon 1 maanantain kuormat on laskettu samoin yhteen. Satamaoperaattori on ilmoittanut edellisenä päivänä puretuista lasteista jäävän noutamatta keskimäärin 8 %. Viikon 1 perjantaina tämä tarkoittaisi 14 puoliperävaunupaikkaa.

Varastokenttä voidaan mitoittaa Vuosaaren sataman maanantaiaamun kuormaa varten esimerkiksi seuraavasti

$$pv \text{ (kenttä } n) = \text{varastokentän } n \text{ koko ilmoitettuna puoliperävaunupaikkojen eli ruutujen yhteismääränä}$$

pv (jäännös) = varastokentällä edelliseltä päivältä noutamatta jäänyt kokonaismäärä, kappaletta tai osuus % pinta-alasta

pv (päivä) = viikonpäivänä varastokentälle purettavien puoliperävaunujen määrä kpl

muu (päivä) = viikonpäivänä varastokentälle purettavat muut kuljetusyksiköt kaistametrejä muutettuna varastokentän ruuduiksi, jaetaan puoliperävaunun pituudella 13,6 m

pv (kenttä n, päivä, %) = varastokentän n kuormitus puoliperävaunuilla tutkittavana päivänä

muu (kenttä n, päivä, %) = varastokentän n kuormitus muilla kuljetusyksiköillä tutkittavana päivänä

*Taulukko 59 Varastokentän kuormitus tutkituissa tilanteissa*

Yksiköiden määrä kentällä	Kentän kuormitus	Kuormituksen aiheuttaja
pv (jäännös) = 14 pv (la) = 300 pv (su) = 120 muu (la) = 100 muu (su) = 80	pv(kenttä yhteensä, maanantaiaamu, %) = $434 \cdot 100 \% / 1080 = 40 \%$ pv + muu(kenttä yhteensä, maanantaiaamu, %) = $614 \cdot 100 \% / 1080 = 57 \%$	Kuormitus alusten purkauksen käynnistyessä maanantaiaamuna
pv (ma) = 400 muu (ma) = 110	pv(kenttä yhteensä, maanantai, %) = $834 \cdot 100 \% / 1080 = 77 \%$ pv + muu(kenttä yhteensä, maanantai, %) = $1124 \cdot 100 \% / 1080 = >100 \%$	Kuormitus purkauksen aikana ennen noutojen käynnistymistä
Noudot	pv(noudot aikaikkunassa) =	Kuormitus

Yksiköiden määrä kentällä	Kentän kuormitus	Kuormituksen aiheuttaja
aikaikkunassa = 834 – 250 = 584  Noudot purkauksen aikana = 834 – 459 = 375	$584 * 100 \% / 1080 = 54 \%$  pv(noudot purkauksen aikana) $= 375 * 100 \% / 1080 = 35 \%$	noutojen käynnistyttyä

Varastokentiltä varattavaa tilaa voidaan arvioida taulukon 59 laskelmien perustella. Taulukosta 17 tarkistetaan, että ruutujen määrä 584 kpl edellyttää kaksoisrampin kummallakin puolella olevien kenttien ja kahden etummaisen varakentän käyttöä alusten purkaukseen. Kaavoista (3) ja (4) saadaan maanantain puoliperävaunujen purkaukseen tarvittavien rivien määrä purkaukseen varatuilla kentillä.

Mikäli maanantaiaamun noudot eivät käynnisty ajoissa, varastokentän kapasiteetti ylittyy. Mikäli noudot toteutuvat keskimääräisellä tavalla, varastokentän koko ei muodostu pullonkaulaksi. Varastokentän kapasiteetille ei ole ollut tarvetta seurata 85 % kuormituksen ylittymistä, koska noudot ovat pitäneet varastokentän kapasiteetin käytön alle 100 %.

Purkaukseen varattavien ruutujen kokonaismäärää pienentävät ilmoitetun aikaikkunan sisällä noudettavat 30 %. Purkauksen loputtua tarvittavaa varastoruutujen kokonaismäärää pienentävät purkauksen aikana noudettavat 55 %.



## 4.5 Ramppitehon, noutotehon ja vetotehon laskenta

### 4.5.1 Aluksen purkausnopeuden laskenta ramppitehon avulla

Vetomestareita käytetään alusten purkaukseen. Vuosaaressa on 61 kpl vetomestaria. Kokoluokan 4216 kaistametriä alusten purkamiseen ja lastaamiseen varataan kymmenen vetomestaria. Muiden alusten purkaukseen varataan kuusi vetomestaria. Vetomestarit jakautuvat ensin aluksen pääkansille. Vetomatkat pääkannelta varastokentälle ovat lyhyitä ja ramppiteho pysyy korkealla. Kun muille kansille vievät rampit on vedetty auki, vetomestarit jakautuvat kaikille kansille. Vetomatkat muilta kansilta ovat pidempiä kuin pääkannelta ja ramppiteho laskee. Koko aluksen purkaukseen käytetään keskimääräistä ramppitehoa.

Aluksen purkausnopeus voidaan laskea jakamalla purettavien kuljetusyksiköiden määrä kuljetusyksikölle käytetyllä ramppiteholla.

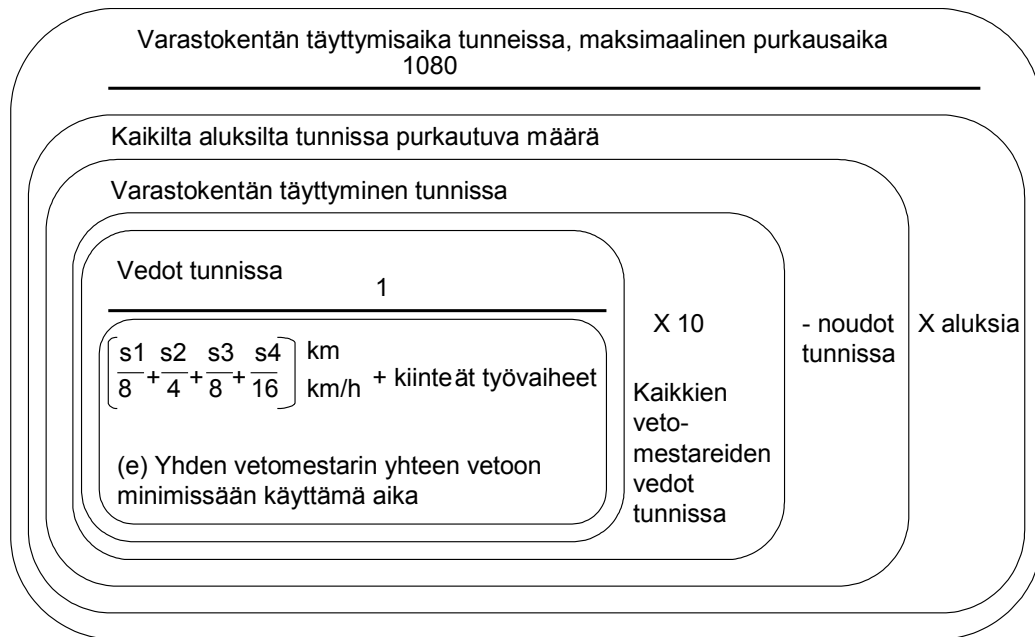
### 4.5.2 Aluksen toteutuvan purkausnopeuden ja satamaoperaattorin kuormituksen laskenta vetoteholla

Satamaoperaattorin kuormituksen laskenta perustuu vetomestareiden vetoihin. Tässä tutkimuksessa aikavälinä käytetään tuntia, vaikkakin vetomestareiden työskentelyä kuvaavat mittaustulokset on tuotettu aluksen koko purkauksen eli noin neljän tunnin pituiselta ajalta.

Yhteen vetoon kuuluu kiinteitä työvaiheita ja vetomatkan muuttuessa ajan suhteen muuttuvia työvaiheita. Yhteen vetoon käytettyä aikaa merkitään kuvassa 23 tunnuksella (e). Vetomatkat s1, s2, s3 ja s4 on selvitetty yllä taulukossa 5. Vetomatkojen laskentaan on tuotettu vaihtoehtoja liitteissä 4.2.1 ja 4.2.2. Vetoaikojen laskentaa on selvitetty liitteissä kohdassa 2.3.3 ja kuljetusyritysten noutojen vaikutuksia kohdassa 4.2.4.

Kaavan (e) tarkoittama minimipurkausaika on ilmoitettu kapasiteetin ylärajalle eli suunnitellulle kapasiteetille. Tällöin käyttöaste on 100 % ja purkausaikaan ei sisälly päivittäisen toiminnan normaalia hävikkiä.

Tehokas kapasiteetti sisältää suunnitellun hävikin ja tarkoittaa liitteissä kohdassa 8.4 kuvattua maksimitehoa. Maksimiteho voidaan ilmoittaa sekä ramppiteholle että vetoteholle. Maksimitehon vaihteluväli on laskettu liitteen kohdassa 4.4.2. Maksimitehon vaikutuksia on arvioitu kohdassa 4.4.5 – 4.4.9 ja epävarmuuksia kohdassa 4.4.4. Koska epävarmuuksia on paljon, tehokkaan eli maksimaalisen ramppitehon ja vetotehon käyttöä ei suositella tässä tutkimuksessa.



*Kuva 52 Esimerkki satamaoperaattorin vetoon käyttämän ajan liittymisestä kapasiteettitarpeisiin*

Kaava (e) voidaan korvata vetomestarin keskimääräisellä yhteen vetoon käyttämällä ajalla. Yhteen vetoon käytettävä keskimääräinen aika ja keskimääräinen ramppiteho on tällöin mitattu aluksen koko purkauksen ajalta. Vetomestari vetää yhden tunnin aikana aluksesta ulos  $60 / (e)$  kpl puoliperävaunuja.

Jos yhtä alusta purkaa 10 vetomestaria, niin tunnin aikana vedetään ulos yhteensä  $10 \times 60 / (e)$  kpl puoliperävaunuja. Jos samanaikaisesti kuljetusyritys noutaa varastokentältä 55 % purkauksen aikana ulos vedettävistä puoliperävaunuista, niin varastokenttä täyttyy tunnissa  $(1 - 0,55) \times (10 \times 60 / (e))$  kpl vauhdilla. Jos samanaikaisesti puretaan n:ltä rampilta aluksia, ja jos ramppinopeus on sama, niin tunnissa

varastokenttä täyttyy vauhdilla  $n \times (1-0,55) \times (10 \times 60 / (e))$  kappaleella. Saatu luku on kaikilta aluksilta tunnissa satamaan purkautuva määrä puoliperävaunuja. Merkitään tätä tunnuksella (a).

Kaikilta aluksilta tunnissa satamaan purkautuvaa puoliperävaunujen määrää (a) voidaan käyttää satamaoperaattorin kapasiteetin mitoitukseen ja muiden kapasiteetin riittävyyttä kuvaavien tulosten tuottamiseen. Esimerkiksi tarvittava varastokentän koko sataman rampeilla purettaville aluksille voidaan selvittää, kun määritellään purkauksen kesto aika tunteina (t) ja lasketaan  $(a) \times (t)$ . Lisäksi voidaan selvittää, kuinka nopeasti varastokenttä tukkeutuu. Esimerkiksi Vuosaaren varastokentän koko 1080 ruutua voidaan jakaa saadulla luvulla (a). Toisaalta varastokentän kapasiteetin varaaminen alusten purkaukseen poistaa varastokentän joustovaran.

Vetomestareita on yleensä joko kymmenen tai kuusi yhden aluksen purkausta kohti. Aluksen kapeus ja kaistojen määrä kansilla rajoittaa alukseen kerralla työskentelemään mahtuvien vetomestareiden lukumäärää. Aluksen lähtösatamassa käytetty lastaustapa saattaa edellyttää normaalia suurempaa määrää vetomestareita aluksen purkaukseen, jotta voidaan ylläpitää keskimääräistä ramppitehoa. Liitteissä on kuvattu erilaisia tapoja keskimääräisen vetomatkan arviointiin ja vetomatkan vaihteittaisen pitenemisen laskemiseen sekä aluksen sisällä että varastokentällä.

#### 4.5.3 Noutotehon laskenta

Aluksen purkauksen aikana noutojen osuus voi kasvaa, joten vetomestareiden vetomatkat voivat lyhentyä. Noutojen muutoksista voidaan arvioida vaikutuksia varastokentän täyttymisnopeuteen, alusten purkamiseen varattavien ruutujen määrään, vetomestareiden vetomatkoihin ja aluksen purkamisaikaan sekä vaikutuksia sataman läpivirtauksen paranemiseen. Noutojen vaikutus vetomatkoihin ja vetoaikaan varastokentällä lasketaan arvioimalla noutojen määrä mitattavan tunnin aikana. Noutoja voi olla yhden tunnin aikana

esimerkiksi 30 % - 55 % vetomestareiden vetojen määrästä. Aluksen purkauksen alkaessa noutoja voi olla huomattavan paljon, mikäli noutojen määrät vähenevät aluksen purkauksen loppua kohti.